

**LAPORAN PENELITIAN
KOMPETITIF DOSEN INDIVIDU
TAHUN 2010**

**STUDI ADSORPSI FASA GAS LOGAM MERKURI PADA BIOMASSA DAUN
DAN BATANG ENCENG GONDOK (*Eichornia crassipes*)**

Nomor SP DIPA	:	4386/025-01.2/XV/2010
Tanggal	:	31 Desember 2010
Satker	:	025.01.423812 (UIN Malang)
Kode Kegiatan	:	01.3410
Kode Sub Kegiatan	:	0048
Kegiatan	:	Penelitian Ilmu Pengetahuan Terapan
MAK	:	572111

Oleh :
HIMMATUL BARROROH, M.Si
NIP. 19750730 200312 2 001



KEMENTERIAN AGAMA
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN) MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
2010

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan Penelitian ini
Disahkan Oleh Lembaga Penelitian dan Pengembangan
Universitas Islam Negeri (UIN) Malang
Pada Tanggal Desember 2010

Mengetahui:
Ketua Jurusan Kimia,

Peneliti,

Diana Candra Dewi, M.Si
NIP. 19770720 200312 2 001

Himmatul Barroroh, M.Si
NIP. 197507302003122001

Mengetahui,
Ketua Lemlitbang UIN Malang

Dr. Ulfah Utami, M.Si
NIP. 19650509199032002

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil ‘Alamiin, puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT., karena dengan segala taufik dan inayahNya penulis telah dapat menyelesaikan penulisan laporan penelitian dengan judul **STUDI ADSORPSI FASA GAS LOGAM MERKURI PADA BIOMASSA DAUN DAN BATANG ENCENG GONDOK (*Eichornia crassipes*)**. Bersama ini penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah memberikan kesempatan pengembangan keilmuan bagi penulis
2. Ketua Lembaga Penelitian dan Pengembangan UIN Maliki Malang atas kesempatan dan support pendanaan dalam melaksanakan penelitian
3. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maliki Malang atas dorongan dan penciptaan atmosfer kondusif dalam pengembangan keilmuan
4. Ketua Jurusan Kimia UIN Maliki Malang atas support fasilitas selama penelitian
5. Koordinator Laboratorium Kimia UIN Maliki Malang atas dukungan fasilitas dan administratif selama proses penelitian
7. Laboran dan Mahasiswa yang telah turut membantu penelitian ini
8. Suami dan keluarga atas dukungan moril, materiil dan spirituil.

Akhirnya penulis berharap hasil penelitian ini akan bermanfaat bagi agama, nusa dan bangsa serta pengembangan keilmuan kimia itu sendiri.

Malang, Desember 2010
Penulis

STUDI ADSORPSI FASA GAS LOGAM MERKURI PADA BIOMASSA DAUN DAN BATANG ENCENG GONDOK (*Eichornia crassipes*)

Himmatul Barroroh¹

ABSTRAK

Merkuri memiliki tingkat bahaya yang tinggi tidak hanya dalam bentuk ion terlarut, tetapi juga dalam bentuk gas logamnya yang dapat dengan mudah berpenetrasi ke dalam tubuh melalui inhalasi maupun pori-pori. Dalam penelitian ini akan dikaji adsorpsi logam merkuri fasa gas pada biomassa daun dan batang enceng gondok pada suhu kamar dengan konstruksi alat yang sederhana.

Konstruksi alat yang dibuat menerapkan variasi tekanan uap merkuri berdasarkan pada prinsip keseimbangan tekanan uap. Uji homogenitas gas dalam kompartemen dilakukan dengan uji asap. Uji ketercapaian difusi uap Hg dalam kompartemen alat dilakukan dengan uji bercak Hg-difenilkarbazid. Variasi tekanan uap merkuri yang diterapkan adalah: 0,1227 Pa, 0,1250 Pa, 0,1274 Pa, 0,1299 Pa, dan 1324 Pa. Uji kadar Hg teradsorpsi pada biomassa dilakukan dengan instrumen XRF.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konstruksi alat yang dibuat dapat digunakan sebagai alat uji adsorpsi gas merkuri. Dari sudut pandang *safety analysis* alat ini cukup aman untuk digunakan, evakuasi uap pada ruang 1m³ telah dapat mengencerkan kadar merkuri di udara menjadi dibawah ambang batas. Uji homogenitas dengan menggunakan asap menunjukkan bahwa asap terdistribusi secara homogen di dalam kedua kompartemen dalam selang waktu 176 detik. Uji bercak Hg-difenilkarbazid menunjukkan hasil positif keberadaan Hg dalam kompartemen tempat adsorben. Adsorpsi uap merkuri pada variasi tekanan dan 27°C oleh biomassa daun dan batang enceng gondok tidak menunjukkan adanya Hg yang teradsorpsi.

Kata kunci: uap merkuri, gas merkuri, Hg⁰, adsorpsi, biomassa, enceng gondok.

¹ Dosen Jurusan Kimia Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
KATA PENGANTAR	
ABSTRAK	
DAFTAR ISI	

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Penelitian	1
1.2. Rumusan Masalah Penelitian	5
1.3. Tujuan Penelitian	6
1.4. Manfaat Penelitian	6
1.5. Batasan Penelitian	6

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Merkuri	7
2.2. Toksisitas Merkuri	11
2.3. Enceng Gondok	13
2.4 Mekanisme Transport Hg^{2+}	16
2.5 Gugus-Gugus Aktif Untuk Adsorpsi Logam Merkuri	17
2.6 Adsorpsi	19
2.7 Kapasitas Adsorpsi	23
2.8 <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF)	25

BAB III METODOLOGI

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	27
3.2 Alat dan Bahan yang Digunakan	27
3.2.1 Alat yang digunakan	27
3.2.2 Bahan yang Digunakan	27
3.3 Tahapan Penelitian	28
3.4 Cara Kerja	28
3.4.1 Konstruksi dan Uji Coba Alat Untuk Proses Adsorpsi Uap Merkuri oleh Biomassa Batang Eceng Gondok.	28
3.4.1.1 Konstruksi Alat	28
3.4.1.2 Uji Coba Kehomogenan Gas dalam Alat	31
3.4.1.2.1 Preparasi Kertas Uji Coba Bercak	31
3.4.1.2.2 Cara Kerja Uji Coba Alat	31
3.4.1.2.3 Identifikasi Komponen Logam Teradsorpsi Dengan Instrumen <i>X-Ray Fluorencence</i> (XRF)	32
3.4.2 Identifikasi Jumlah Merkuri Teradsorpsi Pada Biomassa Batang	

Eceng Gondok	32
3.4.2.1 Persiapan Biomassa Batang Eceng Gondok	32
3.4.2.2 Variasi Tekanan Uap Merkuri (Hg°)	33
3.4.2.3 Proses Adsorpsi Biomassa Batang Eceng Gondok	33
3.4.2.4 Identifikasi Komponen Logam Teradsorpsi Oleh Biomassa Batang Eceng Gondok Dengan Instrumen <i>X-Ray Fluorencence</i> (XRF)	33
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Kelayakan Desain Alat	34
4.1.1. Savety analysis	34
4.1.2. Homogenitas konsentrasi merkuri dalam kompartemen	36
4.2. Adsorpsi logam merkuri fasa gas dengan biomassa enceng gondok	40
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	46
5.1. Kesimpulan	46
5.2. Saran	46
 DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	
RIWAYAT HIDUP	

RIWAYAT HIDUP PENELITI

Nama : Himmatul Barroroh, M.Si
NIP. : 197507302003122001
Tempat, Tgl Lahir : Malang, 30 Juli 1975
Pangkat/Gol : Penata/ III/c
Jabatan : Lektor
Jenis Kelamin : Perempuan
Alamat Rumah : Jl. MT Haryono XA/1072 A Malang 65144
Telp. +62341-552990 Hp. +628123313341
E-mail : Himmatul.B@gmail.com
Fakultas : Sains dan Teknologi UIN Malang
Jl. Gajayana No.50 Malang 65144
Telp. +62341-551354 Fax. +62341-572533
Jurusan : Kimia

Pendidikan Formal :

1. S1 Kimia Universitas Brawijaya (1999)
2. S2 Ilmu Kimia Universitas Gajahmada (2003)

Pendidikan Non-Formal:

1. Computational Chemistry Course of Molecular Dynamic (Austrian-Indonesian Centre for Computational Chemistry-UGM, 2002)

Karya Penelitian:

1. Pemodelan Thomson-Kessick untuk Sistem Buffer (Skripsi, 1999)
2. Simulasi Monte Carlo Sistem Zn^{2+} dalam Campuran Amoniak-Air (Tesis, 2003)
3. Studi Analisis Kimia Debu dan Air Liur Anjing (Lemlit UIN Malang, 2004)
4. Penelitian Tindakan: Swakelola Sampah Rumah Tangga menjadi Kompos di PP Hidayatul Muhtadi`in Tasik Madu Kota Malang (LPM UIN Malang, 2004)
5. Karakteristik Potensial Badan-3 Sistem Zn(II) -Air-Amoniak (Lemlit UIN Malang, 2005, Penelitian Mandiri)
6. Pengaruh Efek *Many Body* pada Kompleks Zn^{2+} - H_2O (Lemlit UIN Malang, 2005, Penelitian Mandiri)
7. Karakteristik Ion Na^+ dan Ca^{2+} Telaga Coastal Aquifer Daerah Kapur Malang Selatan pada Periode Pasang Surut (Lemlit UIN Malang, Penelitian Kompetitif, 2006)
8. Debu sang Penakluk, Interaksi Fisikokimia Debu dengan Air Liur Anjing (Lemlit UIN Malang, Penelitian Kompetitif 2007)
9. Identifikasi Protein Khas Daging Sapi dan Babi melalui Spektra Infra Merah dengan Menggunakan Metode Second Derivative (2D) (Lemlit UIN Malang, Penelitian Kompetitif, 2009)

Pembimbingan Skripsi:

1. Studi Kinetika Adsorpsi Merkuri (II) oleh Biomassa Daun Enceng Gondok yang Terimobilisasi pada Matriks Polisilikat, 2008
2. Adsorpsi Merkuri (II) oleh Biomassa Enceng Gondok yang diimobilisasi pada Matriks polisilikat dengan Metode Kolom, 2008
3. Isolasi Kitin dan Kitosan dari Hewan Mimi (*Horses Shoe Crab*), 2007
4. Uji efektivitas Antimikroba Senyawa Saponin dari Batang Belimbing Wuluh, 2008
5. Identifikasi dan Uji aktivitas Antioksidan Ekstrak Kasar Buah Pepino, 2008
6. Preparasi dan Studi Spektra Infra Merah Ikatan Hg^{2+} - Biomassa Enceng Gondok dengan Metode QM/MM, 2009 (Sedang berjalan)
7. Identifikasi Pola Spektra Infra Merah Khas Protein Daging Sapi dan Daging Babi Mentah Dengan Metode Dekonvolusi, 2009 (sedang berjalan)

Karya Buku/Diktat:

1. Memadu Sains dan Agama (Bunga rampai), UIN Press dan Bayu Media, 2004.
2. Petunjuk Praktikum Kimia Dasar II (FST UIN Malang, 2004)
3. Petunjuk Praktikum Kimia Fisik I (FST UIN Malang, 2004)
4. Petunjuk Praktikum Kimia Fisik II (FST UIN Malang, 2005)
5. Dasar-Dasar Elektrokimia (FST UIN Malang, Buku Ajar, 2005)
6. Islam, Sains dan Teknologi (Bunga rampai), UIN Press, 2006.
7. Besi, Material Istimewa dalam Al-Qur'an, UIN Press, 2006.
8. Debu, Semesta Rahmat, Kajian Interaksi Fisikokimia Debu dengan Air Liur Anjing, UIN Press, 2007.

Karya Ilmiah lainnya (Artikel, Makalah dan Jurnal):

1. Simulasi Monte Carlo Sistem Zn^{2+} dalam Campuran Amoniak-Air (Majalah Ilmiah PPs UGM, SAINS DAN SIBERNATIKA, Vol.17, No.1, Januari 2004, Penerbit PPs UGM)
2. Distribusi Sifat Statik-Energetik Sistem Ion-Ligan; Kajian Komputasi Kimia (Jurnal Saintika, No.2, Th.2, Mei-Agustus 2004, Penerbit FST UIN Malang)
3. Selaput Tipis Membelah Lautan (Jurnal Saintika, No.3, Th.2, Sept-Des 2004, Penerbit FST UIN Malang)
4. Many Body Effects on Zn^{2+} -H₂O Complex (Jurnal Saintika, Edisi Khusus Dies Natalis I UIN Malang, Juni 2005, Penerbit FST UIN Malang)
5. Karakteristik Ion Na⁺ dan Ca²⁺ Telaga Coastal Aquifer Daerah Kapur Malang Selatan pada Periode Pasang Surut (Publikasi penelitian dalam Seminar Nasional Basic Sains 5, Fakultas MIPA Universitas Brawijaya, 2008)
6. Adsorption Equilibrium Study of Mercury (II) on Eichornia crassipes Leaf Biomass (Publikasi penelitian dalam Seminar Internasional on "The Role of Science and Technology in Development of Islamic Civilization", UIN Malang, 2008)

7. Mercury (II) Equilibrium Adsorption Study on Immobilized Water Hyacinth (*Eichornia crassipes*) Leaf Biomass on Polysilica Matrix (Publikasi penelitian dalam Seminar Nasional Kimia XVIII Jurusan Kimia FMIPA UGM, 2008)
8. Studi Kinetika Adsorpsi Merkuri (II) Pada Biomassa Daun Enceng Gondok (*Eichornia crassipes*) (Jurnal Ilmiah Saintika No: dengan Judul:, ISSN 1693-640X)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar) (QS. Ar ruum, 30:41).

Kerusakan yang terjadi di muka bumi sebagai akibat dari perbuatan manusia dalam menggunakan merkuri, pada umumnya berasal dari limbah industri pertambangan emas. Pencemaran merkuri akibat pertambangan emas yang tidak terkontrol telah terjadi di berbagai wilayah Indonesia. Keadaan merkuri di lingkungan akan membahayakan kesehatan manusia, seperti logam berat lainnya.

Kemajuan yang sangat pesat dari teknologi yang diciptakan oleh manusia telah memberikan banyak kemudahan bagi manusia. Sebagai contoh, kemajuan dalam bidang teknologi kimia, yang diungkapkan dengan penemuan pestisida. Melalui penemuan pestisida yang merupakan obat pemberantas hama pertanian, manusia dapat menikmati hasil pertanian dalam jumlah besar, karena hama menjadi pengganggu dan penyebab kerusakan tanaman pertanian telah dapat diatasi dengan menggunakan pestisida tersebut. Contoh lain adalah teknologi elektrik dan elektronik. Perkembangan teknologi di bidang elektrik telah merangsang pertumbuhan pabrik-pabrik elektronik seperti cendawan tumbuh di musim hujan.

Banyak sekali kemudahan bagi manusia, karena dengan pengolahan dan segala macam bentuk pengembangan yang dapat dibuatnya, teknologi elektrik telah dapat dinikmati bahkan sampai dalam rumah mereka. Sebut saja, lampu listrik, seterika listrik, kulkas, dan televisi. Toksikant yang sangat berbahaya umumnya berasal dari buangan industri, terutama industri kimia (produk dari industri pestisida) dan industri yang melibatkan logam berat (Hg, Cd, Pb, Cu, dan Cr) dalam proses produksinya (Heryando 2004).

Logam berat masih termasuk golongan logam dengan kriteria-kriteria yang sama dengan logam-logam lain. Perbedaanya terletak dari pengaruh yang dihasilkan bila logam berat ini berikatan dan atau masuk ke dalam tubuh organisme hidup. Sebagai contoh, bila unsur logam besi (Fe) masuk ke dalam tubuh, meski jumlahnya agak berlebihan, biasanya tidaklah menimbulkan pengaruh yang buruk terhadap tubuh, karena unsur besi (Fe) di butuhkan dalam darah untuk mengikat oksigen. Sedangkan unsur logam berat baik itu logam berat beracun yang dipentingkan seperti tembaga (Cu), bila masuk ke dalam tubuh dalam jumlah berlebihan akan menimbulkan pengaruh-pengaruh buruk terhadap fungsi fisiologis tubuh. Jika yang masuk ke dalam tubuh organisme hidup adalah unsur logam berat beracun seperti hidrargyrum (Hg) atau di sebut juga air raksa, maka dapat dipastikan bahwa organisme tersebut akan langsung keracunan (Heryando 2004).

Pengembangan metode untuk menghilangkan keberadaan logam-logam berat di lingkungan lebih banyak difokuskan pada pengembangan metode yang bersifat ramah lingkungan. Metode adsorpsi merupakan metode pengolahan air

limbah yang cukup unggul di bandingkan yang lain (penukar ion, proses reduksi, koagulan). Serta mampu menghilangkan bahan-bahan organik (Gupta, 1988). Penggunaan bahan organik sebagai adsorben saat ini banyak dikembangkan karena teknik-teknik ini tidak memerlukan biaya tinggi dan sangat efektif untuk menghilangkan kontaminan logam-logam berat di lingkungan (Saleh, 2004).

Salah satu bahan organik yang digunakan sebagai adsorben adalah biomassa dari tumbuhan enceng gondok yang telah mati. Kemampuan biomassa enceng gondok telah terbukti dalam mengadsorpsi sejumlah ion logam seperti merkuri. Rangkaian penelitian seputar kemampuan eceng gondok oleh peneliti Indonesia antara lain oleh Widyanto dan Susilo (1977) yang melaporkan dalam waktu 24 jam eceng gondok mampu menyerap logam kadmium (Cd), merkuri (Hg), dan nikel (Ni), masing- masing sebesar 1,35 mg/g, 1,77 mg/g, dan 1,16 mg/g bila logam itu tak bercampur. Eceng gondok juga menyerap Cd 1,23 mg/g, Hg 1,88 mg/g dan Ni 0,35 mg/g berat kering apabila logam-logam itu berada dalam keadaan tercampur dengan logam lain. Lubis dan Sofyan (1986) menyimpulkan logam krom (Cr) dapat diserap oleh eceng gondok secara maksimal pada pH 7, dalam penelitiannya, logam Cr semula berkadar 15 ppm turun hingga 51,85 persen.

Metode adsorpsi menggunakan biomassa merupakan metode yang efektif dalam mengikat ion logam berat, baik anionik maupun kationik, bahkan pada konsentrasi pada ion logam yang sangat rendah. Selain itu, biomassa merupakan bahan yang dapat diregenerasi dan bersifat biodegradable, sehingga bersifat ramah lingkungan.

Salah satu senyawa yang berpotensi memiliki dua gugus aktif kationik dan anionik adalah protein. Molekul protein memiliki gugus amino yang dapat terprotonasi menjadi gugus amonium (kationik) dan gugus karboksil yang dapat terdeprotonasi menjadi gugus karboksilat (anionik). Selain terdapat pada binatang (protein hewani), protein juga terdapat pada tumbuhan (protein nabati). Hal ini mendorong banyaknya penelitian yang memanfaatkan biomassa tumbuhan yang telah mati, terutama yang berprotein tinggi, sebagai pengikat logam kationik maupun anionik dari media air. Enceng gondok segar memiliki kandungan N total sebesar 0,28% (Hernowo).

Dugaan dalam penelitian Ayubi (2008) adalah bahwa situs-situs aktif biomassa daun enceng gondok yang berperan mengadsorpsi logam Hg^{2+} merupakan protein yang mempunyai satuan-satuan asam amino sebagai penyusunnya. Interaksi antara Hg^{2+} dan adsorben biomassa daun enceng gondok terjadi karena adanya gaya elektrostatik antara muatan negatif adsorben yang bertindak sebagai situs aktif dengan muatan positif dari ion logam. Ion logam terutama logam transisi dapat membentuk ikatan senyawa asam amino karena adanya elektron bebas yang terdapat pada atom oksigen pada gugus fungsional senyawa asam amino berupa $-\text{COOH}$ setelah terdeprotonasi. Protein dan polisakarida memegang peranan yang sangat penting dalam proses biosorpsi ion logam berat dimana ikatan kovalen juga terjadi dengan gugus amino dan grup karbonil (Suhendrayatna, 2004).

Ayubi (2008) menjelaskan bahwa penyerapan merkuri (II) dengan menggunakan biomassa daun enceng gondok sebesar 0,1 gram dan telah diaktivasi dengan HCl 0,01 M, memiliki kapasitas adsorpsi sebesar $4,806 \times 10^{-5}$ mol/gr dengan konstanta adsorpsi sebesar $27130,85 \text{ (mol/L)}^{-1}$ dan energi adsorpsi sebesar 25,460 kJ/mol pada pH optimum 6 dan waktu pengocokan selama 60 menit.

Merkuri memiliki tingkat bahaya yang tinggi tidak hanya dalam bentuk terlarutnya yang berupa ion, akan tetapi tidak kalah berbahaya adalah dalam bentuk gas logamnya karena dapat dengan mudah berpenetrasi ke dalam tubuh melalui uap yang terhirup ataupun malawati pori-pori yang terpapar. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan dikaji adsorpsi logam merkuri fasa gas pada biomassa daun dan batang eceng gondok pada suhu kamar.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan diatas maka dapat diambil suatu rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kelayakan perangkat alat uji adsorpsi logam sederhana yang dibuat dalam penelitian ini.
2. Bagaimanakah adsorpsi logam Hg pada biomassa daun enceng gondok pada suhu kamar?
3. Bagaimanakah adsorpsi logam Hg pada biomassa batang enceng gondok pada suhu kamar?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Memperoleh konstruksi alat sederhana yang memadai untuk uji adsorpsi uap logam Hg.
2. Mengetahui kemampuan adsorpsi logam Hg fasa uap pada biomassa daun dan batang enceng gondok

1.4 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan :

1. Memberikan model konstruksi alat sederhana untuk adsorpsi logam merkuri.
2. Memberikan informasi tentang keseimbangan adsorpsi logam Hg pada biomassa daun dan batang enceng gondok

1.5 Batasan Masalah

Enceng gondok yang digunakan diambil dari daerah waduk selorejo Malang

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Merkuri

Merkuri adalah unsur logam yang mempunyai nomor atom (NA = 80) serta mempunyai massa molekul relatif ($M_r = 200,59$) dengan konfigurasi elektron $[\text{Xe}] 4f^{14} 5d^{10} 6s^2$ (Ebadian, 2001). Merkuri diberi simbol Hg yang merupakan singkatan yang berasal dari bahasa Yunani *hydrargyricum*, yang berarti cairan perak. Merkuri sangat sedikit ditemukan dalam bentuk logam, mineral-mineral merkuri paling banyak ditemukan sebagai sulfida merkuri (cinnabar), dan sebagian kecil pada mineral korderoid ($\text{Hg}_3\text{S}_2\text{Cl}$), livingstonit (HgSb_4S_7), montroyidit (HgO), tertringualit (Hg_2OCl), kalomel (HgCl) (Kirk and Otmer, 1981).

Merkuri (Hg) sebagai unsur berbentuk cair keperakan pada suhu kamar. Merkuri oleh Clarkson dalam Alfian (2006) dapat digolongkan sebagai merkuri anorganik dan merkuri organik. Merkuri anorganik misalnya garam merkurous (Hg_2Cl_2) dan garam merkuri (HgCl_2). Merkuri anorganik pada tahap pengoksidaan, Hg^{2+} adalah lebih reaktif karena dapat membentuk kompleks dengan ligan organik, terutama golongan sulfurhidril. HgCl_2 sangat larut dalam air dan sangat toksik, sebaliknya HgCl tidak larut dan kurang toksik. Contoh dari merkuri organik antara lain senyawa alkil merkuri (CH_3HgCl), senyawa aril merkuri ($\text{C}_6\text{H}_5\text{HgCl}$) dan senyawa alkoksiaril merkuri ($\text{CH}_3\text{OCH}_2\text{HgCl}$). Senyawa

merkuri organik dianggap lebih berbahaya dan dapat larut dalam lapisan lemak pada kulit yang menyelimut korda saraf (Alfian, 2006).

Sifat senyawa HgCl_2 yang lain adalah sangat larut dalam alkohol, eter dan larut dalam asam asetat (Kaye, 1973). Merkuri (II) klorida dapat terbentuk oleh campuran dua unsur dasar, Hg dan Cl_2 menurut persamaan reaksi (Sugiyarto, 2003):



Merkuri dan turunannya mempunyai sifat yang sangat beracun, sehingga kehadirannya di lingkungan perairan dapat mengakibatkan kerugian pada manusia karena sifatnya yang mudah larut dan terikat dalam jaringan tubuh organisme air. Pencemaran merkuri di perairan mempunyai pengaruh terhadap ekosistem setempat yang disebabkan oleh sifatnya yang stabil dalam sedimen, kelarutannya yang rendah dalam air dan kemudahannya diserap dan terkumpul dalam jaringan tubuh organisme air, baik melalui proses *bioaccumulation* maupun *biomagnification* yaitu melalui *food chain* (Budiono, 2003).

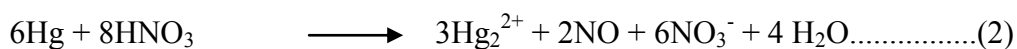
Merkuri mempunyai sifat yang sangat beracun, maka U.S. Food and Administrasion (FDA) menentukan pembakuan atau Nilai Ambang Batas (NAB) kadar merkuri yang ada dalam jaringan tubuh badan air, yaitu sebesar 0,005 ppm. Nilai ambang batas yaitu suatu keadaan dimana suatu larutan kimia, dalam hal ini merkuri dianggap belum membahayakan bagi kesehatan manusia. Kadar merkuri jika sudah melampaui NAB dalam air atau makanan, maka air maupun makanan yang diperoleh dari tempat tertentu harus dinyatakan berbahaya. NAB air yang mengandung merkuri total 0,002 ppm baik digunakan untuk perikanan (Budiono,

2003). Pedoman buku mutu lingkungan menjelaskan bahwa, kadar merkuri pada makanan yang dikonsumsi langsung maksimum sebesar 0,001 ppm. Kadar merkuri yang aman dalam darah maksimal 0,04 ppm. Kadar merkuri sebesar 0,1-1 ppm dalam jaringan sudah dapat menyebabkan munculnya gangguan fungsi tubuh (Anonymous, 2008).

Sebagai unsur, merkuri (Hg) mempunyai rapat 13,534 g/mL pada 25 °C, merkuri tidak dipengaruhi asam klorida atau asam sulfat encer, tetapi mudah bereaksi dengan asam nitrat. Reaksi merkuri dengan asam nitrat pekat panas yang berlebihan akan terbentuk ion merkuri(II) (Vogel, 1979);



Sedangkan reaksi antara merkuri(II) berlebihan dengan asam nitrat yang dingin dan sedang pekatnya (8M) menghasilkan ion merkuri(I). Reaksinya sebagai berikut (Vogel, 1979) :



Merkuri pada pH antara 6-7 mengendap sebagai HgO yang memiliki kelarutan 0,052 g/L dalam pelarut H₂O 20 °C (Chemical reagents, 1999).

Merkuri termasuk unsur logam transisi golongan IIB bersama seng dan kadmium yang terletak dibawah kadmium. Unsur ini memiliki nomor atom 80, berat atom 200,59 g/mol, dengan konfigurasi elektron [Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s² (Ebadian, 2001), meskipun termasuk di dalam logam transisi golongan IIB, merkuri

mempunyai beberapa karakteristik yang membedakan dengan logam lainnya. Yaitu: bersifat *inert*, mempunyai potensial ionisasi lebih tinggi dari unsur elektropositif yang lain. Logam ini mempunyai tingkat oksidasi Hg^{1+} , dan Hg^{2+} yang paling stabil. Pada kondisi Hg^{1+} merkuri membentuk ion rangkap berupa Hg_2^{2+} (Larkin, 1965).

Merkuri merupakan salah satu unsur yang terdistribusi pada lapisan kerak bumi dengan kelimpahan rata-rata $\leq 500 \mu\text{g/kg}$. Merkuri sangat sedikit ditemukan dalam bentuk logam murni, mineral-mineral merkuri paling banyak ditemukan sebagai sulfida merkuri (*Cinnabar*), dan sebagian kecil pada mineral korderoid ($\text{Hg}_3\text{S}_2\text{Cl}$), livingstonit (HgSb_4S_7), montroyidit (HgO), tertringualit (Hg_2OCl), dan kalomel (HgCl) (Larkin, 1965).

Hammond dan Belliles (1980) menyatakan bahwa merkuri mempunyai tekanan uap yang tinggi dan sukar larut dalam air, pada suhu kamar kelarutannya kira-kira 60 mg/l dalam air dan antara 5-50 ml/g dalam lipida. Bila terdapat oksigen, merkuri diasamkan langsung ke dalam bentuk ionik. Uap merkuri hadir dalam bentuk monoatom yang apabila terserap ke dalam sistem pernafasan tubuh akan dibebaskan ke dasar alveolar.

Berdasarkan daya hantar panas dan listriknya merkuri (Hg) dimasukkan dalam golongan logam, sedangkan berdasarkan densitasnya, dimasukkan ke dalam golongan logam berat. Merkuri memiliki sifat-sifat (Arifin, 2008) :

- a. Kelarutan rendah
- b. Sifat kimia yang stabil terutama di lingkungan sedimen

- c. Mempunyai sifat yang mengikat protein, sehingga mudah terjadi biokonsentrasi pada tubuh organisme air melalui rantai makanan
- d. Logam merkuri merupakan satu-satunya unsur logam berbentuk cair, menguap dan mudah mengemisi pada suhu ruang 25 °C dan pada fase padat berwarna abu-abu sedangkan pada fase cair berwarna putih perak
- e. Uap merkuri di atmosfer dapat bertahan selama 3 (tiga) bulan sampai 3 (tiga) tahun sedangkan bentuk yang melarut dalam air hanya bertahan beberapa minggu.

2.2 Toksisitas Merkuri

Sebenarnya uap unsur Hg hanya berbahaya dalam kaitannya dengan pekerjaan. Biasanya gejalanya berupa tremor objektif dan gangguan jiwa. Tiga gejala utama, eksitabilitas, tremor dan radang gusi telah lama diamati diantara pekerja yang terpajan pada uap Hg (Goldwater, 1972). Setelah pajanan terus-menerus terhadap kadar udara 0,05 Hg mg/m³, pekerja yang peka dapat menunjukkan gejala nonspesifik (neurastenia), dan pada kadar sebesar 0,1-0,2 mg/m³, pekerja-pekerja itu dapat menderita tumor (WHO, 1976).

Penelitian baru-baru ini menunjukkan bahwa otak janin jauh lebih rentan terhadap metil merkuri daripada otak orang dewasa. Perbedaan ini dapat terjadi karena toksikan ini membuat mikrotubulus mengalami depolarisasi, karenanya mengganggu pembelahan sel dan migrasi sel, dua hal yang penting dalam perkembangan otak janin (Clarkson, 1987).

Merkuri dan turunannya telah lama diketahui sangat beracun. Kehadirannya di lingkungan perairan dapat mengakibatkan kerugian pada manusia karena sifatnya yang mudah larut dan terikat dalam jaringan tubuh organisme air. Selain itu, pencemaran perairan oleh merkuri mempunyai pengaruh terhadap ekosistem setempat yang disebabkan oleh sifatnya yang stabil dalam sedimen, kelarutannya yang rendah dalam air dan kemudahannya diserap dan terkumpul dalam jaringan tubuh organisme air, baik melalui proses *bioaccumulation* maupun *biomagnification* yaitu melalui *food chain*. Akumulasi merkuri di dalam tubuh hewan air, yaitu *phytoplankton* (*Chlorella sp*), Mussel (*genus Vivipare*) dan ikan *herbivore* *Gyrinocheilus aymonieri* (fam. Gyrinocheilidae) karena *up take rate* merkuri oleh organisme air lebih cepat dibandingkan proses ekskresinya (Budiono, 2003).

Uap merkuri sangat beracun melalui rute inhalasi, sehingga menyebabkan kerusakan parah terhadap saluran pernafasan. Gejalanya termasuk sakit tenggorokan, batuk, nyeri, sesak nafas, sakit kepala, kelemahan otot, perubahan hati, demam, dan pneumonitis.

Merkuri di alam umumnya terdapat sebagai metil merkuri ($\text{CH}_3\text{-Hg}$), yaitu bentuk senyawa organik dengan daya racun tinggi dan sukar terurai dibandingkan zat asalnya. Merkuri (Hg) adalah salah satu jenis logam berat yang sangat berbahaya. Bahaya Hg, khususnya metil merkuri (MeHg), telah dikenal luas dari tragedi yang terjadi di Teluk Minamata, Jepang. Produk sampingan yang mengandung MeHg dibuang ke dalam teluk tersebut oleh pabrik kimia penghasil vinil klorida dan formaldehida milik Perusahaan Chisso. Melalui proses

akumulasi secara biologi (bioakumulasi), proses perpindahan secara biologi (biotransfer), dan peningkatan secara biologi (biomagnifikasi) yang terjadi secara alamiah, organisme laut mengakumulasi MeHg dalam konsentrasi tinggi dan selanjutnya terjadi keracunan pada manusia yang mengkonsumsinya (Yasuda, 2000).

Melihat sifatnya yang sangat beracun, maka U.S. Food and Administration (FDA) menentukan pembakuan atau Nilai Ambang Batas (NAB) kadar merkuri yang ada dalam jaringan tubuh badan air, yaitu sebesar 0,005 ppm. Nilai Ambang Batas yaitu suatu keadaan dimana suatu larutan kimia, dalam hal ini merkuri dianggap belum membahayakan bagi kesehatan manusia. Bila dalam air atau makanan, kadar merkuri sudah melampaui NAB, maka air maupun makanan yang diperoleh dari tempat tertentu harus dinyatakan berbahaya (Budiono, 2003).

2.3 Enceng Gondok

Enceng gondok di indonesia pada mulanya diperkenalkan oleh kebun raya bogor pada tahun 1894 yang akhirnya berkembang di sungai ciliwung sebagai tanaman pengganggu.



Gambar 2.1 Enceng Gondok

Menurut Lawrence (1964) dan Moenandir (1990) dalam Hernowo (1999), enceng gondok secara botanis mempunyai sistematika sebagai berikut:

Divisio : Embryophytasi Phonogama

Sub Divisio : Spermathopyta

Klas : Monocotyledoneae

Ordo : Ferinosae

Famili : Pontederiaceae

Genus : Eichhornia

Spesies : *Eichhornia Crassipes (Mart) Solm.*

Enceng gondok merupakan herba yang mengapung, menghasilkan tunas yang merayap yang keluar dari ketiak daun yang dapat tumbuh lagi menjadi tumbuhan baru dengan tinggi 0,4-0,8 cm, tumbuhan ini memiliki bentuk fisik berupa daun-daun yang tersusun dalam bentuk radikal (roset). Setiap tangkai pada helaian daun yang dewasa memiliki ukuran pendek dan berkerut. Helaian daun (lamina) berbentuk bulat telur lebar dengan tulang daun yang melengkung rapat, panjangnya 7-25 cm, warna daun hijau licin mengkilat (Hernowo, 1999).

Lebih lanjut, Masan (1981) dalam Hernowo (1999) menerangkan, bahwa kerangka bunga berbentuk bulir, bertangkai panjang, berbunga 10-35 cm, tangkai dengan dua daun pelindung yang sangat dekat, yang terbawah dengan helaian 4 kecil dan pelepah yang berbentuk tabung dan bagian atas juga berbentuk tabung. Poros bulir sangat bersegi, tabung tenda bunga 1,5-2 cm panjangnya dengan pangkal hijau dan ujung pucat. Tajuk sebanyak 6 masing-masing tidak sama ukurannya, panjang 2-3 cm, tajuk belakang yang terbesar dengan noda ditengah-

tengah bewarna kuning cerah. Benang sari 6, bengkok, tiga dari benang sari tersebut lebih besar dari yang lain.

Bakal buah beruang tiga dan bersisi banyak. Tangkai daun pada enceng gondok bersifat mendangkalkan dan membangun spon yang membuat tumbuhan ini mengambang. Enceng gondok berkembang biak dengan stolon (vegetatif) dan juga secara generatif. Perkembangbiakan secara vegetatif mempunyai peranan penting dalam pembentukan koloni (Hernowo, 1999).

Muramoto dan Oki (1997) dalam Hernowo (1999) menjelaskan, bahwa Enceng gondok dapat digunakan untuk menghilangkan polutan, karena fungsinya sebagai sistem filtrasi biologis, menghilangkan nutrien mineral, serta untuk menghilangkan logam berat seperti cuprum, aurum, cobalt, strontium, merkuri, timah, kadmium dan nikel.

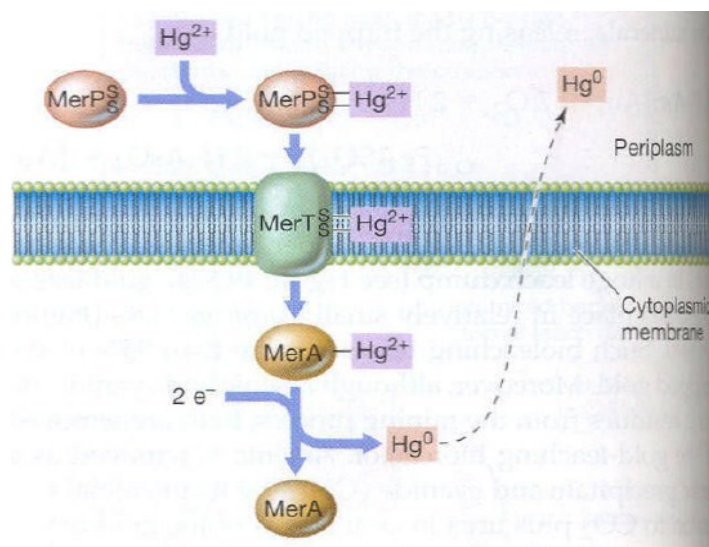
Daun enceng gondok diduga memiliki asam amino sebagai situs aktif dalam proses adsorpsi, hal ini didukung dengan hasil analisa kimia dari Enceng gondok dalam keadaan segar diperoleh bahwa kadar N total 0,28%, bahan organik 36,59% C organik 21,23% P total 0,0011% dan K total 0,016% (Hernowo, 1999). Enceng gondok selama ini lebih dikenal sebagai tanaman gulma. Padahal, enceng gondok sebenarnya mempunyai kemampuan menyerap logam berat. Kemampuan ini telah diteliti di laboratorium Biokimia, Institut Pertanian Bogor, dengan hasil yang sangat luar biasa. Penelitian daya serap enceng gondok dilakukan terhadap besi (Fe) tahun 1999 dan timbal (Pb) pada tahun 2000 (Hasim, 2007).

Penelitian seputar kemampuan enceng gondok dalam menyerap logam berat juga telah dilakukan oleh para pakar. Widyanto dan Susilo (1977) dalam

Hasim (2007), melaporkan, dalam waktu 24 jam enceng gondok hidup mampu menyerap logam kadmium (Cd), merkuri (Hg), dan nikel (Ni), masing-masing sebesar 1,35 g/g, 1,77 g/g, dan 1,16 g/g bila logam itu tak tercampur. Enceng gondok juga menyerap Cd 1,23 g/g, Hg 1,88 g/g dan Ni 0,35 g/g berat kering apabila logam-logam itu berada dalam keadaan tercampur dengan logam lain 2000 (Hasim, 2007).

2.4 Mekanisme Transport Hg^{2+}

Menurut Nascimento dan Chartone Souza (2003), transport ion merkuri (HgCl_2) bagian luar sel dengan penyaluran protein, yang mana membantu mengikat Hg^{2+} dengan protein merP yang berada di dalam periplasmik. Hg^{2+} kemudian ditransfer ke merT protein membran sitoplasmik, dan pada akhirnya menuju ke situs aktif dari merA (reduksi merkuri) (Elza, 2008).



Gambar 2.1 Mekanisme Transport dan Reduksi dari Hg^{2+}

MerP adalah protein periplasmik sebagai pengikat Hg (II) pada sel periplasmik dan merT adalah protein yang terdapat pada membran sel sebagai transport Hg (II), kedua protein ini mempunyai sifat yang berbeda. merP adalah protein globular dan larut dalam air sedangkan merT adalah protein membran sel tidak larut dalam air atau bersifat hidrofobik (Oppella, Stanley, 1998).

2.5 Gugus-Gugus Aktif Untuk Adsorpsi Logam Merkuri

Pada interaksi ion logam merkuri dalam air dengan biomassa eceng gondok, diduga situs-situs aktif yang terdapat pada biomassa daun enceng gondok merupakan gugus amino dan karboksilat pada satuan asam amino penyusun protein, gugus hidroksil (OH) dan gugus karbonil lain pada selulosa. Interaksi antara Hg^{2+} dan adsorben biomassa daun enceng gondok terjadi karena adanya gaya elektrostatik antara muatan negatif adsorben yang bertindak sebagai situs aktif dengan muatan positif dari ion logam. Ion logam terutama logam transisi dapat membentuk ikatan dengan senyawa asam amino karena adanya elektron bebas yang terdapat pada atom oksigen pada gugus fungsional senyawa asam amino berupa $-\text{COOH}$ setelah terdeprotonasi (Ayubi, 2008). Interaksi ion logam merkuri dengan adsorben biomassa termasuk dalam jenis adsorpsi fisika, dengan kisaran energi kurang dari 42 kJ/Mol atau kira-kira sama pada proses kondensasi adsorbat. Sifat interaksinya lebih lemah yaitu gaya Van der Waals dan ikatan hidrogen pada interaksi antara dua sistem. Adsorbat lebih mudah berpindah dari permukaan karena sifatnya yang reversibel dan hal ini menyebabkan

kemungkinan desorpsi dapat terjadi pada temperatur yang sama. Ketebalan lapisan adsorben lebih besar beberapa kali diameter adsorbat (Rosyidah, 2008).

Interaksi logam merkuri (Hg^0) memiliki sifat yang berbeda dengan spesi ion logamnya. Kim (2011) dan Liu (2008) menunjukkan bahwa adsorpsi logam merkuri (Hg^0) terhadap adsorben karbon teraktivasi asam dan basa serta khabazid yang diimbani nano komposit perak merupakan interaksi kimia. Adsorpsi terjadi pada suhu $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan rentang $250\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Kim (2011) menambahkan di dalam penelitiannya bahwa luas permukaan spesifik dari karbon teraktivasi basa lebih rendah dari pada karbon teraktivasi asam. Namun, kapasitas untuk mengadsorpsi uap merkuri, karbon teraktivasi asam tiga kali lebih tinggi dari karbon teraktivasi basa. Hasil ini menunjukkan bahwa luas permukaan atau struktur pori bukan merupakan faktor kunci untuk mengontrol kapasitas adsorpsi logam merkuri. Faktor utama yang dimiliki oleh karbon teraktivasi asam yang menyebabkan tingginya kapasitas adsorpsi terhadap logam merkuri (Hg^0) adalah komposisi gugus fungsi yang dimiliki. Dimana, karbon teraktivasi asam memiliki jumlah gugus fungsi ($\text{C}=\text{O}$ dan COOH) yang lebih tinggi daripada gugus fungsi yang dimiliki oleh karbon teraktivasi basa. Dalam data yang ditunjukkan pada Tabel 2.2, kita dapat melihat bahwa komposisi gugus fungsi $\text{C}=\text{O}$ dan COOH karbon teraktivasi asam benar-benar lebih tinggi daripada nilai komposisinya untuk karbon teraktivasi basa.

Tabel 2.1 Nilai-nilai Rasio spesifik gugus $R_{C=O}/R_{C-O}$ dan R_{COOH}/R_{C-O} Karbon Teraktivasi Asam dan Karbon Teraktivasi Basa

	C_{1s}		O_{1s}	
	$R_{C=O}/R_{C-O}$	R_{COOH}/R_{C-O}	$R_{C=O}/R_{C-O}$	R_{COOH}/R_{C-O}
Karbon Aktif Asam	0,60	0,29	0,92	0,86
Karbon Aktif Basa	0,47	0,27	0,65	0,56

(Kim, 2011)

2.6 Adsorpsi

Adsorpsi adalah suatu proses di mana suatu komponen bergerak dari suatu fasa menuju permukaan yang lain sehingga terjadi perubahan konsentrasi pada permukaan. Zat yang di serap di sebut adsorbat sedangkan zat yang menyerap di sebut adsorben. Pada umumnya dikenal dua jenis adsorpsi, yaitu adsorpsi fisik atau adsorpsi Van der Walls dan adsorpsi kimia atau adsorpsi teraktivasi (Oscik, 1982).

Adsorpsi fisik adalah adsorpsi yang melibatkan gaya intermolekul (gaya Van der Walls, ikatan hidrogen, dll) (Oscik, 1982). Pada adsorpsi ini adsorbat tidak terikat kuat pada permukaan adsorben sehingga dapat bergerak dari satu bagian adsorben ke bagian lain. Sifat adsorpsinya adalah *reversible* yaitu dapat balik atau dilepaskan kembali dengan adanya penurunan kosentrasi larutan (Larry, *et al.*, 1992). Adsorpsi kimia adalah adsorpsi yang melibatkan ikatan valensi sebagai hasil pemakaian bersama elektron oleh adsorben dan adsorbat. Adsorpsi berhubungan dengan pembentukan senyawa kimia yang melibatkan adsorben dan permukaan-permukaan zat yang diserap (Oscik, 1982). Adsorpsi ini biasanya

tidak *reversible*. Adsorben harus dipanaskan pada temperatur tinggi untuk memisahkan adsorbat (Larry, *et al.*, 1992).

Kapasitas adsorpsi ion oleh adsorben adalah jumlah gugus yang dapat dipertukarkan dalam adsorben. Kapasitas pertukaran adsorpsi ion dari suatu adsorben ialah jumlah ion yang dapat ditukar untuk setiap 1 g adsorben kering, atau jumlah ion yang dapat ditukar untuk setiap 1 mL adsorben basah. Kapasitas adsorpsi ion ini biasanya dinyatakan dalam ion per g adsorben kering atau dalam ion per mL adsorben basah. Besarnya nilai kapasitas adsorpsi suatu adsorben bergantung dari jumlah gugus-gugus ion yang dapat ditukarkan yang terkandung dalam setiap g adsorben tersebut. Semakin besar jumlah gugus-gugus tersebut semakin besar pula nilai kapasitas adsorpsinya (Underwood, 2002).

Salah satu bahan organik yang digunakan sebagai adsorben adalah biomassa dari tumbuhan enceng gondok yang telah mati. Kemampuan biomassa tumbuhan ini telah terbukti dalam mengadsorpsi logam berat seperti merkuri. Al-Ayubi (2008) menjelaskan bahwa penyerapan merkuri (II) dengan menggunakan biomassa daun enceng gondok sebesar 0,1 gram dan telah diaktivasi dengan HCl 0,01 M, memiliki kapasitas adsorpsi sebesar $4,806 \times 10^{-5}$ mol/gr dengan konstanta adsorpsi sebesar $27130,85 \text{ (mol/L)}^{-1}$ dan energi adsorpsi sebesar 25,460 kJ/mol pada pH optimum 6 dan waktu pengocokan selama 60 menit.

Hasil penelitian lain tentang adsorpsi merkuri (II) dengan biomassa daun enceng gondok yang termobilisasi pada matriks polisilikat juga telah dilakukan oleh Khalifah (2008). Khalifah (2008) menjelaskan bahwa dalam waktu pengocokan 60 menit pada pH 6, 0,1 gram biomassa daun enceng gondok yang

termobilisasi pada matriks polisilikat mampu menyerap merkuri (II) dengan kapasitas adsorpsi sebesar $4,649 \times 10^{-5}$ mol/g, konstanta adsorpsi sebesar $11334,79 \text{ (mol/L)}^{-1}$ dan energi adsorpsi sebesar 23,28 kJ/mol.

Lilik (2008) menjelaskan bahwa model kinetika adsorpsi merkuri (II) pada biomassa daun enceng gondok secara kuantitatif dapat dijelaskan melalui model kinetika Llangmuir pada tiap laju linear. Pada tahap I nilai konstanta laju adsorpsi (k) = $4,1 \cdot 10^{-2} \text{ menit}^{-1}$, konstanta keseimbangan (K) = $287,35 \text{ (mol/L)}^{-1}$, energi adsorpsi (ΔE_{ads}) = 14,119 kJ/mol, tahap II nilai konstanta laju adsorpsi (k) = $8 \cdot 10^{-4} \text{ menit}^{-1}$, konstanta keseimbangan (K) = $2381,4 \text{ (mol/L)}^{-1}$, energi adsorpsi (ΔE_{ads}) = 19,394 kJ/mol dan tahap III nilai konstanta laju adsorpsi (k) = $4 \cdot 10^{-1}$, konstanta keseimbangan (K) = $2602,1 \text{ (mol/L)}^{-1}$, energi adsorpsi (ΔE_{ads}) sebesar 19,615 kJ/mol. Secara kuantitatif, berdasarkan nilai energi adsorpsi dapat diketahui bahwa ikatan yang terjadi antara merkuri (II) dengan biomassa daun enceng gondok kebanyakan berikatan secara fisisorpsi.

Proses adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain (Hassler, 1962; Weber, 1972; Sawyer and Mc Carty, 1983):

1. Sifat Adsorbat

Besarnya adsorpsi zat terlarut tergantung pada kelarutannya pada pelarut. Kenaikan kelarutan menunjukkan ikatan yang kuat antara zat terlarut dengan pelarut dan aksi yang sebaliknya terhadap adsorpsi oleh adsorben. Makin besar kelarutannya, ikatan antara zat terlarut dengan pelarut makin kuat sehingga adsorpsi akan semakin kecil karena sebelum adsorpsi terjadi diperlukan energi yang besar untuk memecah ikatan zat terlarut dengan pelarut.

2. Konsentrasi Adsorbat

Pada umumnya adsorpsi akan meningkat dengan kenaikan konsentrasi adsorbat tetapi tidak berbanding langsung. Adsorpsi akan konstan jika terjadi kesetimbangan antara konsentrasi adsorbat yang terserap dengan konsentrasi yang tersisa dalam larutan.

3. Sifat Adsorben

Adsorpsi secara umum terjadi pada semua permukaan, namun besarnya ditentukan oleh luas permukaan adsorben yang kontak dengan adsorbat. Luas permukaan adsorben akan sangat berpengaruh terutama untuk tersedianya tempat adsorpsi. Adsorpsi merupakan suatu kejadian permukaan sehingga besarnya adsorpsi sebanding dengan luas permukaan spesifik. Makin banyak permukaan yang kontak dengan adsorbat maka akan makin besar pula adsorpsi yang terjadi.

4. Temperatur

Reaksi yang terjadi pada adsorpsi biasanya eksotermis, oleh karena itu adsorpsi akan besar jika temperatur rendah.

5. Waktu Kontak dan Pengocokan

Waktu kontak yang cukup diperlukan untuk mencapai kesetimbangan adsorpsi. Jika fasa cair yang berisi adsorben diam, maka difusi adsorbat melalui permukaan adsorben akan lambat. Oleh karena itu, diperlukan pengocokan untuk mempercepat proses adsorpsi.

6. pH Larutan

Senyawa yang terdisosiasi lebih mudah diserap dari pada senyawa terionisasi. Pada umumnya adsorpsi bertambah pada kisaran pH dimana suatu senyawa organik bermuatan netral.

2.7 Kapasitas Adsorpsi

Kapasitas adsorpsi ion oleh adsorben adalah jumlah gugus yang dapat dipertukarkan dalam adsorben. Kapasitas pertukaran adsorpsi ion dari suatu adsorben ialah jumlah ion yang dapat ditukar untuk setiap 1 g adsorben kering, atau jumlah ion yang dapat ditukar untuk setiap 1 mL adsorben basah. Kapasitas adsorpsi ion ini biasanya dinyatakan dalam ion per g adsorben kering atau dalam ion per mL adsorben basah. Besarnya nilai kapasitas adsorpsi suatu adsorben bergantung dari jumlah gugus-gugus ion yang dapat ditukarkan yang terkandung dalam setiap g adsorben tersebut. Semakin besar jumlah gugus-gugus tersebut semakin besar pula nilai kapasitas adsorpsinya (Underwood, 2002).

Salah satu bahan organik yang digunakan sebagai adsorben adalah biomassa dari tumbuhan enceng gondok yang telah mati. Kemampuan biomassa tumbuhan ini telah terbukti dalam mengadsorpsi logam berat seperti merkuri. Al-Ayubi (2008) menjelaskan bahwa penyerapan merkuri (II) dengan menggunakan biomassa daun enceng gondok sebesar 0,1 gram dan telah diaktivasi dengan HCl 0,01 M, memiliki kapasitas adsorpsi sebesar $4,806 \times 10^{-5}$ mol/gr dengan konstanta adsorpsi sebesar $27130,85 \text{ (mol/L)}^{-1}$ dan energi adsorpsi sebesar 25,460 kJ/mol pada pH optimum 6 dan waktu pengocokan selama 60 menit.

Hasil penelitian lain tentang adsorpsi merkuri (II) dengan biomassa daun enceng gondok yang termobilisasi pada matriks polisilikat juga telah dilakukan oleh Khalifah (2008). Khalifah (2008) menjelaskan bahwa dalam waktu pengocokan 60 menit pada pH 6, 0,1 gram biomassa daun enceng gondok yang termobilisasi pada matriks polisilikat mampu menyerap merkuri (II) dengan kapasitas adsorpsi sebesar $4,649 \times 10^{-5}$ mol/g, konstanta adsorpsi sebesar $11334,79 \text{ (mol/L)}^{-1}$ dan energi adsorpsi sebesar 23,28 kJ/mol.

Lilik (2008) menjelaskan bahwa model kinetika adsorpsi merkuri (II) pada biomassa daun enceng gondok secara kuantitatif dapat dijelaskan melalui model kinetika Langmuir pada tiap laju linear. Pada tahap I nilai konstanta laju adsorpsi (k) = $4,1 \cdot 10^{-2} \text{ menit}^{-1}$, konstanta keseimbangan (K) = $287,35 \text{ (mol/L)}^{-1}$, energi adsorpsi (ΔE_{ads}) = 14,119 kJ/mol, tahap II nilai konstanta laju adsorpsi (k) = $8 \cdot 10^{-4} \text{ menit}^{-1}$, konstanta keseimbangan (K) = $2381,4 \text{ (mol/L)}^{-1}$, energi adsorpsi (ΔE_{ads}) = 19,394 kJ/mol dan tahap III nilai konstanta laju adsorpsi (k) = $4 \cdot 10^{-1}$, konstanta keseimbangan (K) = $2602,1 \text{ (mol/L)}^{-1}$, energi adsorpsi (ΔE_{ads}) sebesar 19,615 kJ/mol. Secara kuantitatif, berdasarkan nilai energi adsorpsi dapat diketahui bahwa ikatan yang terjadi antara merkuri (II) dengan biomassa daun enceng gondok kebanyakan berikatan secara fisisorpsi.

2.8 *X-Ray Fluorescence (XRF)*



Gambar 2.5 Instrument XRF

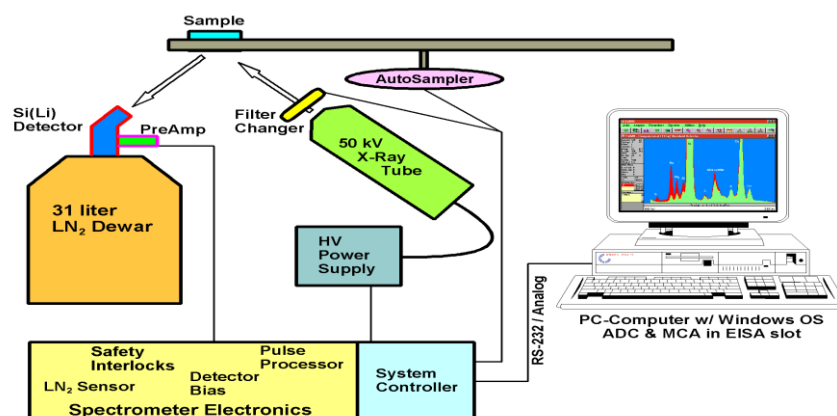
Analisa dengan *X-Ray Fluorescence* akan diperoleh analisa unsur penyusun dari sampel, keunggulan teknik ini adalah sampel yang dianalisa tidak perlu dirusak, sehingga metode ini termasuk dalam non-destructive test. Kekurangan dari metode *X-Ray Fluorescence* adalah tidak dapat menganalisa unsur dibawah nomor atom 10 (Jamaluddin, 2007).

Prinsip pengukuran *X-Ray Fluorescence* berdasarkan terjadinya proses eksitasi elektron pada kulit atom bagian dalam ketika atom suatu unsur tersebut dikenai sinar-X, kekosongan elektron tersebut akan diisi oleh elektron bagian luar dengan melepaskan energi yang spesifik untuk setiap unsur (Saksono, 2002: 90). Elektron dari kulit yang lebih tinggi akan mengisi kekosongan itu. Perbedaan energi dari dua kulit itu tampil sebagai sinar X yang dipancarkan oleh atom. Spektrum sinar X selama proses tersebut menunjukkan peak/puncak yang karakteristik, dimana setiap unsur akan menunjukkan peak/puncak yang karakteristik yang merupakan

landasan dari uji kualitatif untuk unsur-unsur yang ada. Sinar X karakteristik diberi tanda sebagai K, L, M atau N untuk menunjukkan dari kulit mana dia berasal. Penunjukkan lain adalah alpha (α), dan beta (β) atau gamma (γ) dibuat untuk memberi tanda sinar X itu berasal dari transisi elektron dari kulit yang lebih tinggi. Oleh karena itu K alpha (α) adalah sinar X yang dihasilkan dari dari transisi elektron kulit L ke kulit K, dan K beta (β) adalah sinar X yang ke kulit K. Jadi setiap unsur mempunyai K alpha (α) dan K beta (β) yang karakteristik sebagai dasar uji kualitatif unsur yang ada (Sumantry, 2000).

Hasil XRF berupa spektrum hubungan antara energi eksitasi dan intensitas sinar-X, Energi eksitasi menunjukkan unsur penyusun sampel dan intensitas menunjukkan nilai kuantitatif dari unsur tersebut. Semakin tinggi intensitasnya, semakin tinggi pula prosentase unsur tersebut dalam sampel (Jamaluddin, 2007). Metode XRF akan memberikan nilai intensitas secara total dari unsur tertentu dalam semua bentuk senyawa (Saksono, 2002: 92).

Skema cara kerja instrumen XRF :



Gambar 2.6 skema kerja instrumen XRF (Agus, 2009)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium kimia Universitas Islam Negeri Malang pada bulan Mei-Oktober 2010.

3.2 Alat dan Bahan yang Digunakan

3.2.1 Alat yang digunakan

Alat yang digunakan meliputi: erlenmeyer 100 ml, ayakan 120 dan 250 Mesh, seperangkat alat untuk proses adsorpsi, labu ukur 1000 ml, gelas beker 1000 ml, oven, corong pisah, pipet ukur 25 ml, blender dan seperangkat instrument XRF (MiniPal4).

3.2.2 Bahan yang Digunakan

Bahan yang digunakan meliputi: eceng gondok (bagian batang) diambil dari waduk selorejo, logam merkuri (Hg), HNO₃, HCl, Difenilkarbazida, kertas saring dan aquades, alkohol 1%.

3.3 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian meliputi :

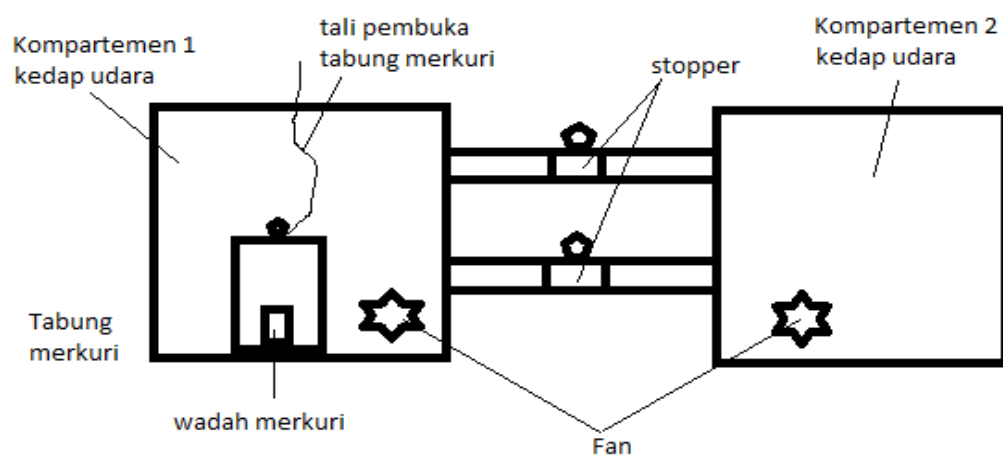
- Persiapan biomassa batang eceng gondok
- Konstruksi dan uji coba alat proses adsorpsi oleh biomassa batang eceng gondok
- Identifikasi jumlah merkuri teradsorpsi pada biomassa batang eceng gondok menggunakan instrument *X-Ray Fluorencence* (xrf)

3.4 Cara Kerja

3.4.1 Konstruksi dan Uji Coba Alat Untuk Proses Adsorpsi Uap Merkuri oleh Biomassa Batang Eceng Gondok.

3.4.1.1 Konstruksi Alat

Penelitian dilakukan di dalam sebuah reaktor yang didesain khusus untuk eksperimen ini. Desain alat tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1. Rangkaian alat reaktor adsorpsi

Sampel biomassa diletakkan di dalam Kompartemen 2. Selanjutnya logam merkuri pada tekanan atmosfer diletakkan di dalam sebuah botol terbuka kemudian botol tersebut diletakkan pada Tabung merkuri . Reaktor digunakan untuk mendapatkan kondisi variasi tekanan gas merkuri berdasar pada prinsip keseimbangan, melalui variasi volume Kompartemen 2 (V_{k2}). Tekanan uap merkuri pada 27°C adalah 0,00232 mmHg. Prinsip kerja reaktor adalah sebagai berikut:

1. **Tahap 1 Generasi uap merkuri dengan jumlah tetap.** Stopper antara Kompartemen 1 dan Kompartemen 2 ditutup. Uap merkuri dalam botol akan dibiarkan memenuhi ruang Kompartemen 1 hingga mencapai keadaan keseimbangan, dengan tekanan uap merkuri (P_1) 0,00232 mmHg pada tekanan udara 1 atm, 27°C. Volume Kompartemen 1 netto (V_{k1})= 4505,5 mL adalah volume keadaan awal. Setelah uap merkuri mencapai keseimbangan, tutup tabung merkuri ditutup.
2. **Pembuatan variasi tekanan merkuri.** Stopper antara kompartemen 1 dan Kompartemen 2 dibuka. Kompartemen 2 mula-mula berisi udara dengan tekanan 1 atm. Ketika Stopper dibuka dan dilakukan homogenisasi udara di dalam kedua kompartemen dengan bantuan fan kecil, maka udara di dalam kedua kompartemen akan bercampur. Volume Kompartemen 2 netto (V_{k2}) adalah 5293,5 mL. Ketika Stopper dibuka maka Volume keadaan akhir setelah pencampuran udara (V_a) adalah Volume keadaan awal (V_{k1}) ditambah Volume Kompartemen 2 (V_{k2}).

$$V_2 = V_{k1} + V_{k2}$$

$$= 9799 \text{ mL}$$

Dalam keadaan akhir ini, maka tekanan uap merkuri akhir (P_2) adalah

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$P_2 = (P_1 V_1) / V_2$$

$$= (0,00232 \text{ mmHg} \times 4505,5 \text{ mL}) / 9799 \text{ mL}$$

$$= (0,267 \text{ Pa} \times 4505,5 \text{ mL}) / 9799 \text{ mL}$$

$$= 0,1227 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ mmHg} = 133,322 \text{ Pa}$$

Tekanan uap merkuri pada keadaan akhir (P_2) adalah tekanan merkuri yang efektif digunakan sebagai sistem uji adsorpsi logam Hg oleh biomassa eceng gondok. P_2 divariasi dengan perhitungan seperti di atas. Selanjutnya biarkan selama beberapa waktu agar terjadi keseimbangan adsorpsi gas pada biomassa. Selanjutnya ambil sampel biomassa untuk selanjutnya dianalisa kandungan logam merkurnya dengan menggunakan X-Ray Fluoresence (XRF). Langkah ini dilakukan sampai 5 variasi P_2 , sebagaimana tabel berikut:

Tabel 3.1. Variasi volume kompartemen 2 dan tekanan gas sistem adsorpsi

No.	Volume Kompartemen 2 (V_{k2}) (mL)	Tekanan gas Hg, P_2 (Pa)
1.	9799	0,1227
2.	9620	0,1250
3.	9441	0,1274
4.	9262	0,1299
5.	9083	0,1324

3.4.1.2 Uji Coba Kehomogenan Gas dalam Alat

3.4.1.2.1 Preparasi Kertas Uji Coba Bercak

Potong kertas saring dengan ukuran 2 x 3 cm, kemudian jenuhi kertas saring tersebut dengan difenilkarbazida (1 % dalam alkohol), setelah itu tetesi dengan asam nitrat 0,04 M diatas kertas saring yang telah dijenuhi oleh reagensia.

3.4.1.2.2 Cara Kerja Uji Coba Alat

Pertama stopper 3 (lihat gambar 3.1) pada rangkaian alat ditutup rapat, kemudian logam Hg di dalam wadah 4 diletakkan dalam kompartemen 1. Setelah itu, kompartemen 1 ditutup rapat menggunakan tutup kompartemen 1. Lalu, buka tutup wadah 4, kemudian hidupkan kipas 5, agar mempercepat proses penghomogenisasian pada suhu kamar (27 °C), lalu biarkan 30 menit sehingga tercapai keseimbangan. Setelah tercapai keseimbangan tutup wadah sampel 4.

Kedua, masukkan kertas uji coba bercak didalam kompartemen 2, lalu tutup kompartemen 2. Selanjutnya, buka stoper 3 pada pipa penghubung dan nyalakan kipas 5 dan 6 pada kompartemen 1 dan 2. Biarkan selama 30 menit, sehingga terjadi pemedahan uap Hg dari kompartemen 1 ke kompartemen 2 dan proses adsorpsi kertas uji coba bercak. Setelah proses homogenisasi dan proses adsorpsi selesai, matikan kipas 5 kompartemen 1, lalu tutup stopper 3 pada pipa penghubung, kemudian biarkan kembali selama ± 30 menit agar proses adsorpsi uap Hg pada kompartemen 2 sempurna.

Ketiga, ambil adsorben kertas uji coba bercak dan segera masukkan dalam wadah tertutup, kemudian duji menggunakan instrumenn XRF (MiniPal4). Setelah adsorben diambil, evakuasi udara dari kompartemen 1 dan 2 dengan menyalakan

kipas angin selama ± 30 menit. Terakhir lakukan langkah-langkah di atas untuk variasi tekanan uap Hg dengan mengubah volume kompartemen 2.

3.4.1.2.3 Identifikasi Komponen Logam Teradsorpsi Dengan Instrumen *X-Ray Fluorencence* (XRF)

Karakterisasi ini dilakukan dengan cara sebagai berikut: sampel yang akan dikarakterisasi diletakkan dalam sample holder, kemudian disinari dengan sinar X. Sehingga, diperoleh data berupa presentase unsur yang terkandung pada sampel yang diuji (Ummah, 2010).

3.4.2 Identifikasi Jumlah Merkuri Teradsorpsi Pada Biomassa Batang Eceng Gondok

3.4.2.1 Persiapan Biomassa Batang Eceng Gondok

Eceng gondok diambil dari daerah Selorejo kecamatan Ngantang kabupaten Malang, kemudian diambil bagian batangnya, batang yang sudah diambil dikeringkan dengan oven pada temperatur sekitar 90-100 °C, sampai berat yang dihasilkan konstan. Sampel yang telah kering dihaluskan menggunakan blender dan kemudian disaring dengan ayakan berukuran 120 mesh. Sampel yang lolos disaring kembali dengan menggunakan ayakan berukuran 250 mesh. Sampel yang digunakan adalah sampel yang tertinggal pada ayakan yang berukuran 250 mesh. Kemudian sampel dicuci dengan HCl 0,01 M, untuk menghilangkan logam-logam yang terdapat dalam batang eceng gondok tersebut dan setelah itu dicuci kembali lagi dengan aquades sampai netral. Kemudian sampel dikeringkan

kembali menggunakan oven pada temperatur 50 – 60 °C sampai diperoleh berat konstan.

3.4.2.2 Variasi Tekanan Uap Merkuri (Hg°)

Table 3.2 Variasi volume pada kompartemen 2

No	Voleme kompartemen 2 (mL)
1	5177
2	4998
3	4819
4	4640
5	4561

3.4.2.3 Proses Adsorpsi Biomassa Batang Eceng Gondok

Untuk proses adsorpsi biomassa batang eceng gondok ini, cara kerjanya sesuai dengan cara kerja alat 3.5.1.2, dimana kertas uji coba bercak digantikan dengan biomassa batang eceng gondok.

3.4.2.4 Identifikasi Komponen Logam Teradsorpsi Oleh Biomassa Batang Eceng Gondok Dengan Instrumen *X- Ray Fluorencence* (XRF)

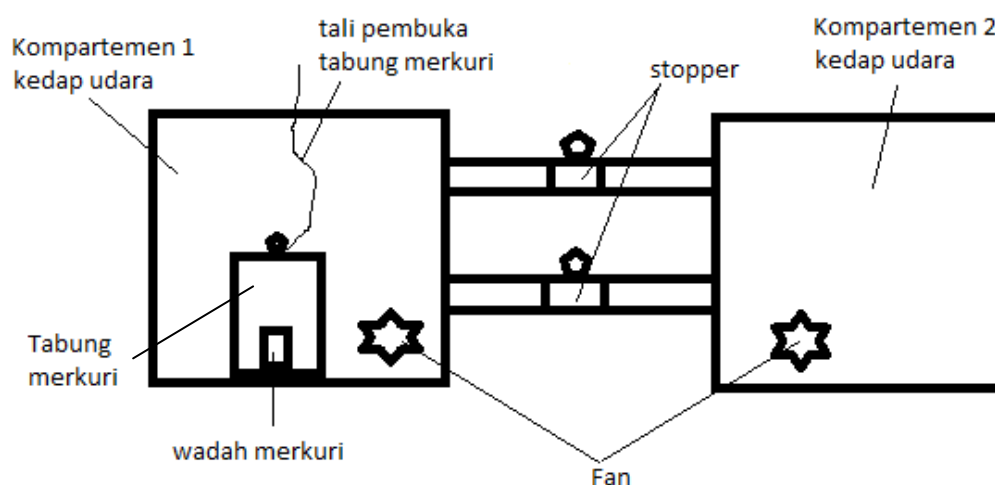
Untuk proses identifikasi komponen teradsorpsi oleh biomassa batang eceng gondok, cara kerjanya sesuai dengan cara kerja 3.4.1.2.2.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Kelayakan Desain Alat

Penelitian dilakukan di dalam sebuah reaktor yang didesain khusus untuk eksperimen ini. Desain alat tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Rangkaian alat reaktor adsorpsi

4.1.1. Safety analysis

Uap Hg termasuk dalam kategori logam berbahaya. Orang dapat terpajan uap Hg bila bernafas dalam lingkungan yang terkontaminasi oleh uap Hg, menelan atau makan makanan atau minum air yang terkontaminasi oleh Hg, dan melalui kulit yang kontak dengan Hg yang terdapat dalam krem pemutih kulit. Jadi pajanan dapat melalui udara, makanan dan kontak dengan kulit (ATSDR, 1999; WHO, 2001). Ketika orang menelan Hg metal dalam jumlah kecil (misalnya dari termometer oral yang pecah) $< 0,01\%$ dari Hg tersebut akan masuk ke dalam tubuh melalui pencernaan dan tidak menimbulkan sakit. Bila jumlah lebih besar (misalnya setengah

sendok teh = 204 gr) tertelan oleh seseorang, sangat kecil yang akan terserap oleh tubuh (ATSDR, 1999). Ketika menghirup uap Hg, 80% Hg masuk ke dalam aliran darah secara langsung melalui paru-paru, kemudian dengan cepat akan menyebar ke bagian-bagian lain termasuk ke otak dan ginjal. Nilai ambang batas merkuri di udara adalah $0,1 \text{ mg/m}^3$.

Tabel 4.1. Batasan Kadar Hg di Lingkungan

No.	Peraturan	Kadar Hg yang diperbolehkan
1.	Kadar Hg dalam air minum Permenkes no. 907/2002	0,001 mg/L
2.	Kadar Hg dalam air bersih No. 416/Menkes/Per/IX/1990	0,001 mg/L
3.	Kadar Hg dalam udara tempat kerja Kepmenkes: 261/Menkes/SK/II/1998	$0,1 \text{ mg/m}^3$
4.	Kadar Hg dalam makanan dan minuman Keputusan Badan Pengawasan Obat dan Makanan: no. 3725/B/SK/VII/89 Dalam ikan segar Dalam sayuran Dalam biji-bijian	0,5 mg/kg 0,03 mg/kg 0,05 mg/kg
5.	Kadar Hg dalam air sungai no. 02/MenKLH/I/1998: Golongan A (baku mutu air minum) Golongan B (untuk perikanan) Golongan C (untuk pertanian) Golongan D (yang tidak termasuk golongan A, B dan C)	0,001 mg/L 0,001 mg/L 0,002 mg/L 0,005 mg/L

Berikut adalah contoh perhitungan konsentrasi merkuri pada sistem dengan tekanan merkuri tertinggi, yaitu percobaan ke-5. Volume akhir (V_2) = 9083 mL = 9,083 L = $0,00908 \text{ m}^3$.

Kadar merkuri pada keadaan akhir sistem (P_2) adalah:

$$P_2 V_2 = nRT$$

$$n = P_2 V_2 / RT$$

$$= (0,1324 \text{ Pa} \times 0,00908 \text{ m}^3) / (8,314 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \times 300 \text{ K})$$

$$= 4,82 \times 10^{-7} \text{ mol}$$

$$w = n \times MR_{\text{Hg}}$$

$$= 4,82 \times 10^{-7} \text{ mol} \times 200,9 \text{ g mol}^{-1}$$

$$= 9,683 \times 10^{-5} \text{ g}$$

$$\text{Konsentrasi Merkuri dalam kompartemen} = 9,683 \times 10^{-2} \text{ mg} / 0,00908 \text{ m}^3 \text{ udara}$$

$$= 10,66 \text{ mg/m}^3 \text{ udara}$$

Jadi konsentrasi merkuri di dalam kompartemen pada sistem akhir adalah $10,66 \text{ mg/m}^3$ udara, 100 kali diatas nilai ambang batas merkuri yaitu $0,1 \text{ mg/m}^3$ udara. Jadi jika kompartemen di buka di dalam ruang dengan volume 100 kali volume kompartemen yaitu $0,913 \text{ m}^3$, mendekati ruang sebesar 1 m^3 maka konsentrasi Hg dalam ruangan sudah memenuhi nilai ambang batas. Jika ruangan yang digunakan adalah berukuran panjang x lebar x tinggi = $1\text{m} \times 1\text{m} \times 1\text{m} = 1\text{m}^3$, maka konsentrasi Hg di dalam ruangan sudah berada dibawah nilai ambang batas. Dalam penelitian ini kompartemen di buka di udara terbuka (outdoor) dengan dibantu fan untuk menyegerakan homogenisasi udara, maka volume ruangan menjadi seluas udara terbuka (atmosfer), sehingga konsentrasi merkuri di udara terbuka di atas alat menjadi sangat terencerkan. Hal ini merekomendasikan bahwa penelitian ini adalah penelitian yang aman untuk dilakukan. Selain itu untuk menjaga kemungkinan peneliti terpapar merkuri, maka digunakan masker (gas adsorber) oleh peneliti.

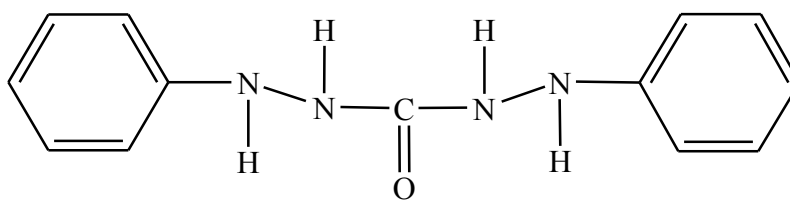
4.1.2. Homogenitas konsentrasi merkuri dalam kompartemen

Homogenisasi udara di dalam kompartemen di lakukan dengan bantuan stirer fan di dalam kedua kompartemen. Dengan demikian diharapkan uap merkuri akan segera bercampur secara homogen dan mengalami keseimbangan dengan udara dalam kompartemen dalam waktu yang singkat, yaitu pada suhu kamar (27°C) dengan tekanan uap merkuri sebesar $0,00232 \text{ mmHg}$. Uji coba untuk mengukur waktu kesetimbangan homogenisasi uap Hg di dalam kompartemen dengan bantuan stirer fan didekati dengan menggunakan model penyebaran asap di dalam kompartemen dengan bantuan stirer fan. Hasilnya adalah untuk waktu setimbang yang dicoba dengan asap untuk sistem dengan volume kompartemen 1 saja memerlukan waktu 7

detik, sedangkan untuk sistem akhir yang terdiri atas volume gabungan kompartemen 1 dan kompartemen 2 membutuhkan waktu 176 detik.

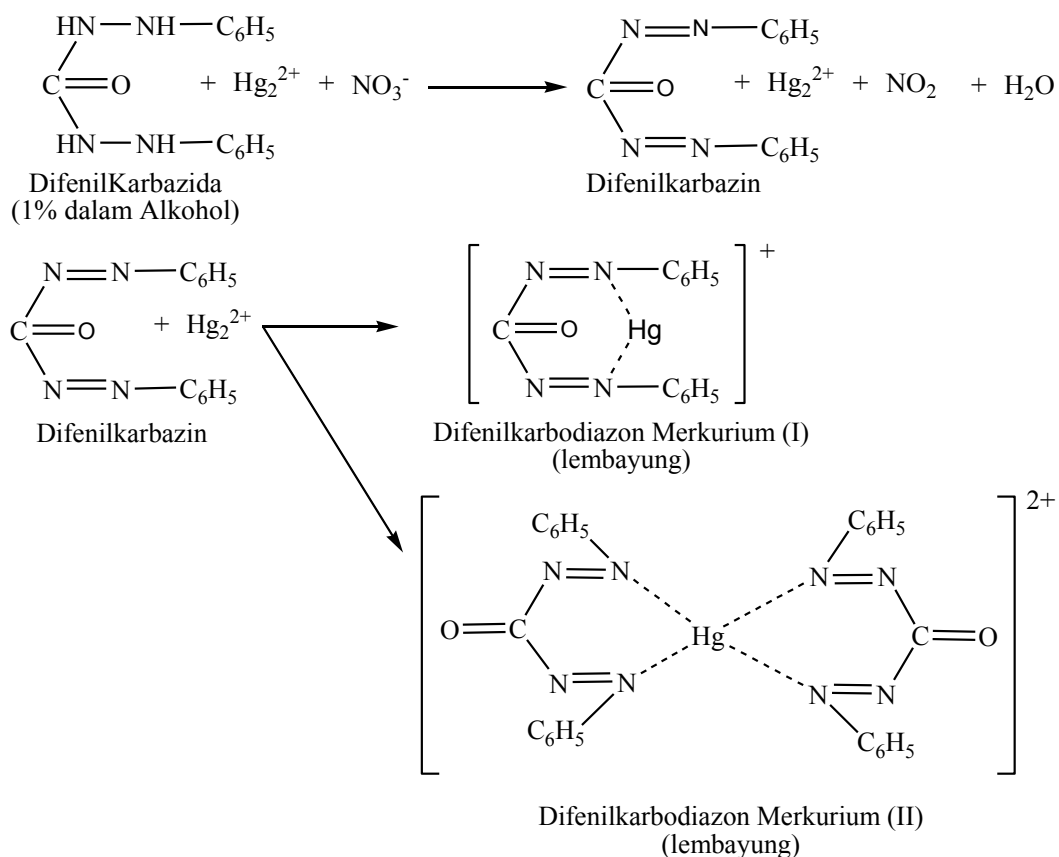
Uap Hg merupakan gas tidak berwarna, sehingga keberadaannya di dalam ruangan tidak dapat dilihat langsung dengan mata. Terdapat beberapa cara untuk mendeteksi keberadaan uap merkuri di dalam suatu ruang, yang pertama adalah dengan meletakkan uap merkuri di ruang gelap dengan diberikan cahaya UV atau dengan uji kimia yang disebut uji bercak. Dalam penelitian ini, identifikasi kualitatif keberadaan uap Hg dalam kompartemen dilakukan dengan menggunakan uji bercak menggunakan difenilkarbazida. Uji ini memberikan hasil positif keberadaan uap merkuri di atas tabung merkuri. Uji positif ditunjukkan oleh munculnya bercak berwarna lembayung pada kertas saring yang telah ditetesi asam nitrat 4 M dan difenil karbazida. Akan tetapi uji bercak menunjukkan hasil negatif pada kertas saring yang diletakkan di kompartemen 2 pada sistem akhir. Hasil negatif ini ditandai dengan tidak terlihatnya warna lembayung pada kertas uji bercak dengan matatelanjang. Hal ini diduga karena kecilnya kadar merkuri di kompartemen 2, terkait kurang pekaan warna yang mungkin ada di dalam kertas uji. Untuk itu hasil uji bercak di kompartemen 2 diukur kandungan logam Hg nya dengan menggunakan XRF. Hasil XRF menunjukkan bahwa Hg positif terdeteksi dengan kadar 1,9%.

Vogel (1985, 217) menyatakan ada beberapa cara untuk mendeteksi adanya merkuri, salah satunya dengan cara uji bercak, dimana dalam uji ini menggunakan difenilkarbazida (1 % dalam alkohol) dan asam nitrat 0,4 M. Dalam uji ini akan membentuk senyawa yang berwarna lembayung dengan ion-ion merkuri (I) atau merkuri (II), yang komposisinya belum diketahui pasti benar. Kepekaan metode ini adalah $1 \mu\text{g Hg}^{2+}$ atau Hg^{2+} dengan batas konsentrasi 1 dalam 5×10^4 .



Gambar 4.2 1,5 difenilkarbazida

Uji bercak dilakukan dengan cara menjenuhi sepotong kertas saring dengan reagensia yang baru saja dibuat. Ditambahkan 1 tetes asam nitrat 0,4 M, dan di atas asam nitrat ini dibubuhkan satu tetes larutan uji. Jika ada merkuri, akan terlihat warna lembayung. Uji ini paling peka kalau kertas saring dibiarkan mengering pada suhu kamar (Vogel, 1985, 217). Dugaan reaksi tersebut adalah sebagai berikut :



Gambar 4.3 Reaksi dugaan Kompleks Hg-Difenilkarbazida

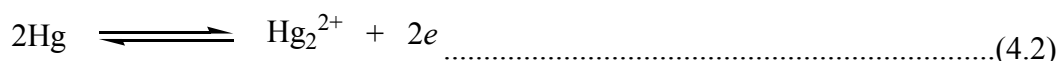
Mula-mula logam merkuri (Hg^0) teroksidasi oleh asam nitrat sehingga menjadi merkuri (I) (Hg_2^{2+}). Tahap berikutnya ion Hg_2^{2+} akan berinteraksi dengan difenilkarbazida dan reaksi tersebut menghasilkan kompleks berwarna lembayung. Menurut Vogel (1985) interaksi logam transisi kromium (Cr^{2+}) dengan difenilkarbazida akan membentuk kompleks 1 : 1 dengan warna lembayung. Dalen (1962) menemukan bahwa reaksi difenilkarbazon atau difenilkarbazida dengan merkuri (I) atau merkuri (II) dapat dipelajari dengan analisis kualitatif. Dalam reaksi tersebut terbentuk kompleks berupa kompleks karbazone, yaitu Merkuri (I) dan (II), dalam bentuk dua jenis kompleks, yaitu kompleks 1:1 dan 1:2 (kation: karbazone). Kompleks yang terbentuk berupa koloid dalam larutan alkohol berair. Berdasarkan dari penelitian diatas, maka dapat diusulkan analogi reaksi untuk merkuri (I) dengan difenilkarbazida seperti pada gambar 4.4 membentuk kompleks 1 : 1 dan 1 : 2.

Effendy (2007) menjelaskan bahwa senyawa kompleks dapat berupa kompleks ionik dan kompleks netral. Ion kompleks dengan bilangan koordinasi dua umumnya terbatas pada kompleks dengan atom pusat ion-ion yang memiliki tingkat oksidasi +1 dari unsur-unsur golongan 11 (IB). Ion Hg_2^{2+} juga dapat membentuk kompleks dengan bilangan koordinasi dua.

Ion-ion kompleks dengan bilangan koordinasi dua tersebut dapat membentuk ion kompleks dengan bilangan koordinasi yang lebih tinggi dengan adanya penambahan jumlah ligan (Effendy, 2007).

Reaksi yang terjadi antara merkuri (Hg) dengan HNO_3 akan menghasilkan merkuri (I) yang selanjutnya menghasilkan senyawa kompleks yang berwarna lembayung apabila ditambahkan difenilkarbazida (1% dalam alkohol). Pembentukan kompleks Hg-difenilkarbazida melibatkan reaksi oksidasi, yaitu peningkatan bilangan

oksidasi dari logam merkuri yaitu mula-mula tidak bermuatan (Hg^{0+}) mengalami peningkatan muatan menjadi merkuri (I) (Hg_2^{2+}). Reaksi oksidasi tersebut dapat dilihat pada persamaan 4.1 berikut (Vogel, 1979) :



Warna dari suatu kompleks timbul akibat adanya transisi elektron, yaitu transisi elektron dari tingkat energi terendah (keadaan dasar) ke tingkat energi yang lebih tinggi. Kompleks akan berwarna apabila transisi elektron tersebut memerlukan radiasi yang termasuk dalam spektrum sinar tampak (Effendy, 2006). Warna senyawa organik berasal dari adanya ikatan konjugasi pada suatu kompleks. Panjang ikatan konjugasi yang berbeda akan memberikan warna yang berbeda pula. Karena pada kompleks Hg-difenilkarbazida dari uji bercak dengan Cr-difenilkarbazida memiliki warna yang sama, maka dapat diduga keduanya memiliki struktur kompleks yang hampir sama.

Pada penelitian ini, hasil uji bercak pada kompartemen II menunjukkan hasil yang positif, hal ini menunjukkan bahwa uap merkuri sudah mencapai kompartemen II dan mencapai keadaan kesetimbangan. Sehingga, konstruksi alat dalam penelitian ini dapat digunakan untuk uji adsorpsi merkuri pada fase gas oleh biomassa.

4.2. Adsorpsi logam merkuri fasa gas dengan biomassa enceng gondok

Percobaan adsorpsi logam Hg fasa gas oleh biomassa batang enceng gondok, mengikuti metode sebagaimana dijelaskan pada metodologi. Waktu homogenisasi untuk meyakinkan kesetimbangan sehingga tercapainya tekanan uap Hg pada suhu kamar yaitu 0,00232 mmHg dan sekaligus interaksi yang cukup dengan biomassa

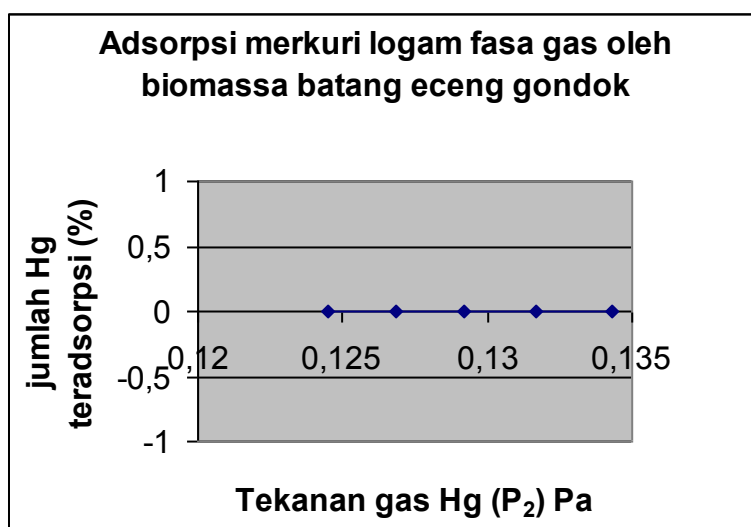
batang enceng gondok adalah 30 menit. Biomassa batang enceng gondok hasil preparasi setelah dikeringkan, dengan ukuran serbuk antara 120-150 mesh, dan dicuci dengan HCl 0,01M, dan dikeringkan kembali, diletakkan di kompartemen 2 secara tersebar. Untuk mengoptimalkan interaksi dengan uap logam Hg, serbuk biomassa distirer di dalam ruang kompartemen dengan bantuan stirer fan. Setelah waktu interaksi selama 30 menit, maka serbuk biomassa di kompartemen 2 diambil dan segera dimasukkan ke dalam kantong plastik untuk segera dianalisa kandungan logam Hg dengan instrumen XRF.

Data hasil analisa kandungan logam Hg pada biomassa dengan XRF diberikan dalam Tabel 4.2., data hasil instrumen XRF secara lengkap dapat dilihat di lampiran 1. Instrumen XRF merupakan instrumen penentuan kadar mineral dan logam dari sebuah sampel secara non-destruktif. Hasil yang diberikan adalah dalam satuan % mineral atau logam dari jumlah seluruh mineral dan logam yang ada dalam sampel. Alat ini mampu mendeteksi hingga 99,9% kandungan mineral dan logam, dengan kadar mineral atau logam terkecil mencapai dibawah 0,1%. Mineral dan logam yang terdeteksi mencapai mineral logam tanah jarang yang merupakan unsur runtu termasuk diantaranya Eu, Yb, Hf, Y, dan In.

Data hasil uji bercak yang dianalisa kandungan logam Hg nya dengan XRF, dari proses homogenisasi uap Hg didalam seluruh ruang kompartemen menunjukkan hasil yang positif. Akan tetapi ternyata hasil interaksi adsorpsi logam Hg fasa uap oleh biomassa enceng gondok tidak memberikan hasil adanya logam Hg yang teradsorpsi. Pada keseluruhan 5 buah variasi tekanan uap Hg yang diberikan, tidak ada satupun biomassa yang berhasil mengadsorpsi logam Hg, hal ini seperti tampak pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 tentang adsorpsi logam Hg fasa uap oleh biomassa batang dan daun enceng gondok.

Tabel 4.2 Adsorpsi logam Hg fasa gas oleh biomassa batang enceng gondok

No.	Tekanan gas Hg, P_2 (Pa)	Jumlah Hg teradsorpsi
1.	0,1227	0
2.	0,1250	0
3.	0,1274	0
4.	0,1299	0
5.	0,1324	0

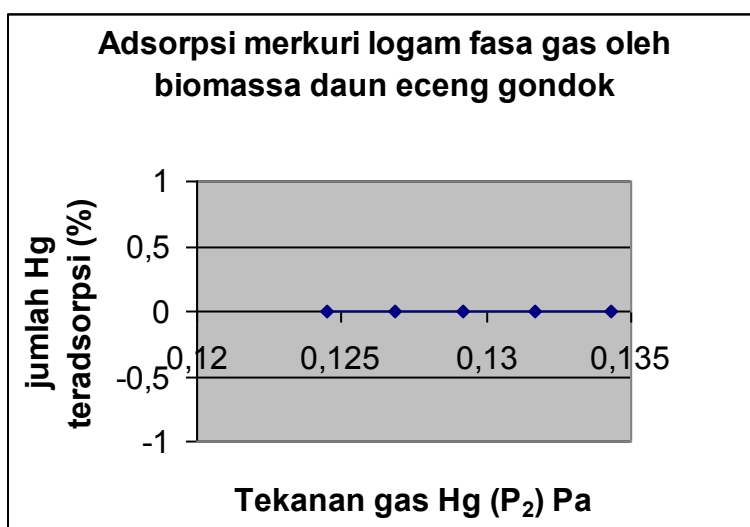


Gambar 4.4. Grafik adsorpsi logam Hg fasa gas oleh biomassa batang enceng gondok.

Temuan ini merupakan hal yang sangat menarik. Fakta menunjukkan bahwa dengan ketiadaan air, dalam penelitian ini merkuri dalam fasa gas sehingga tidak berada dalam medium air, adsorpsi logam Hg oleh biomassa praktis tidak terjadi. Narsito (2006) menyatakan bahwa biomassa memiliki gugus-gugus yang selama ini diketahui dapat berinteraksi dengan ion-ion logam yang terlarut dalam media air, melalui beberapa jenis kemungkinan interaksi, diantaranya: pemerangkapan (interaksi fisika), ikatan hidrogen, interaksi ionik, dan ikatan kompleks.

Tabel 4.3. Adsorpsi logam Hg fasa gas oleh biomassa daun enceng gondok

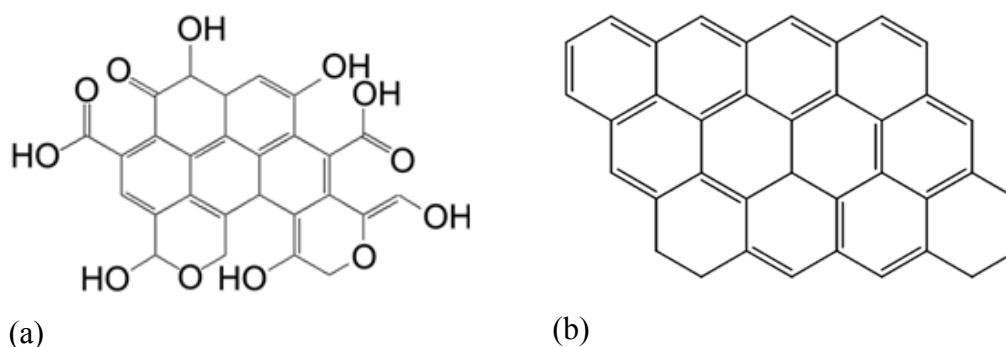
No.	Tekanan gas Hg, P_2 (Pa)	Jumlah Hg teradsorpsi
1.	0,1227	0
2.	0,1250	0
3.	0,1270	0
4.	0,1299	0
5.	0,1324	0



Gambar 4.5. Grafik adsorpsi logam Hg fasa gas oleh biomassa daun enceng gondok.

Dalam peristiwa adsorpsi logam merkuri, dugaan gugus aktif utama yang ada didalam biomassa yaitu gugus aktif berupa NH_2 , COOH , dan OH . Menurut Kim (2001) gugus aktif yang penting untuk proses adsorpsi adalah gugus karbonil (C=O) dan karboksilat (COOH) tetapi tidak gugus fenolik ($-\text{OH}$), adanya gugus-gugus tersebut diharapkan dapat mengadsorpsi logam merkuri dalam fase gas.

Gambaran gugus fungsi aktif untuk adsorpsi logam merkuri (Hg^0) adalah sebagai berikut :



Gambar 4.6 (a) arang tak teraktivasi dan (b) karbon aktif komersial (Kim, 2011)

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa biomassa enceng gondok tidak mampu mengadsorpsi uap merkuri, meskipun dalam biomassa yang digunakan diduga memiliki gugus-gugus aktif yang dapat mengadsorpsi logam merkuri dalam fase gas. Ketidakmampuan biomassa batang eceng gondok untuk mengadsorpsi uap merkuri, diduga disebabkan karena proses adsorpsi berlangsung suhu ruang (27°C), sehingga gugus aktif ($\text{C}=\text{O}$, COOH) yang mungkin banyak terdapat didalam biomassa batang eceng gondok tidak mampu menyerap uap merkuri yang ada. Karena proses adsorpsi logam pada fase gas merupakan adsorpsi kimia maka adsorpsi ini hanya dapat terjadi pada suhu yang tinggi atau terdapat agen pengoksidasi seperti HNO_3 . Kim (2011) menyatakan dalam penelitiannya bahwa proses adsorpsi uap merkuri dapat dilaksanakan pada suhu 70°C dengan rentang waktu selama satu jam dalam proses adsorpsinya. Dimana hasil yang didapatkan yaitu sebesar 53,4 % (299 ppb) pada menit ke 600 pada karbon teraktivasi asam.

Yan (2008) juga menjelaskan bahwa untuk menangkap uap merkuri membutuhkan suhu yang sangat tinggi yaitu sebesar 250°C dengan menggunakan khabazid alami yang diimbani perak nanokomposit (AgMC) yang khusus disintesis untuk menangkap uap merkuri. Khabazid dengan perak nanokomposit teremban ini merupakan situs aktif pendonor elektron.

Wang LG (2005) menyatakan bahwa arang yang tidak diaktivasi mempunyai kapasitas adsorpsi logam merkuri yang lebih tinggi dari pada karbon aktif komersial. Hal ini menunjukkan bahwa faktor penting untuk mengadsorpsi logam merkuri (Hg^0) adalah adanya gugus fungsi aktif ataupun tersedianya situs aktif sebagai pendonor elektron. Logam merkuri (Hg^0) harus teroksidasi terlebih dahulu sebelum terjadi proses adsorpsi atau proses oksidasi terjadi bersamaan pada saat proses adsorpsi terjadi yang dilakukan oleh gugus aktif permukaan adsorben itu sendiri. Hal ini dapat terjadi dengan adanya asam pengoksidasi khususnya asam nitrat, ataupun proses pada suhu tinggi. Dalam proses adsorpsi logam berat, luas permukaan tidak menjadi faktor utama, hal ini ditunjukkan oleh fakta bawa karbon aktif komersial mengadsorpsi logam merkuri (Hg^0) lebih rendah daripada arang tak teraktivasi.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, mengenai studi adsorpsi fase gas logam merkuri oleh biomassa daun dan batang eceng gondok (*eichhornia crassipes*), dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Konstruksi alat dalam penelitian ini dapat digunakan untuk menjadi alat uji adsorpsi logam merkuri dalam fase gas. Hasil dari uji bercak menggunakan instrument *X-Ray Flourescence* (XRF) ditemukan unsur Hg sebesar 1,9% pada kertas uji.
2. Biomassa daun dan batang eceng gondok tidak mampu menyerap uap merkuri dengan variasi tekanan uap merkuri pada suhu 27 °C.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai adsorpsi uap merkuri menggunakan biomassa batang eceng gondok dengan menggunakan suhu yang lebih tinggi misalnya 70 °C – 250 °C.
2. Disarankan dapat digunakan instrument yang lebih besar ketelitannya, sehingga dapat mendeteksi logam dalam bentuk gas yang teradsorpsi oleh biomassa batang eceng gondok, meskipun kandungannya yang terdapat didalamnya sangat kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- Adamson. W. A., 1990, *Physical Chemistry of Surfaces, fifth edition*. John Wiley and Sons. Inc, America, pp 421-426.
- Adi, T.K, Barroroh, H., Mba'o F.F, Apriliansyah, F., 2010. *Karakterisasi dan Study Ikatan Adsorpsi Merkuri (II) pada Biomassa Daun Eceng Gondok (Eichornia Crassipes)*, Laporan Penelitian Bersama Dosen dan Mahasiswa, F. Saintek, UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Al Ayubi. 2008. *Study Keseimbangan Adsorpsi Merkuri(II) pada Biomassa Daun Enceng gondok (Eichhornia crassipes)*. Skripsi Jurusan Kimia Fakultas SAINTEK. Universitas Islam Negeri Malang. Malang.
- Anshori, Al. 2005. *SPEKTROMETRI SERAPAN ATOM*, Staf Laboratorium Kimia Bahan Alam dan Lingkungan Jurusan Kimia FMIPA, Universitas Padjadjaran.
- Ardiwinata.R.O., 1985 , *Musuh Dalam Selimut di Rawa Pening*, Kementrian Pertanian, Vorking, Bandung.
- Arisandi., 2004, *Standar Kualitas Air*, air.bappenas.go.id/modules/doc/pdf_download.php?prm_download_id=627&sbfbf=9&prm_download_table=2, diakses tanggal 5 Juli 2010.
- Bait, S., and Dalen, Van, E., 2002, *The Reactions of Diphenylcarbazine and Diphenylcarbazone with Cations : Part III. Nature and Propertise of The Mercury Complexs*. Chemical Laboratory, Free University, Amsterdam The Neherlands.
- Banat F., Al-Asheh S., 2000, "Biosorption of Phenol by Chicken Feather", *Environmental Engineering and policy*, 2:85-90.
- Budiono, A, 2003, *Pengaruh Pencemaran Merkuri Terhadap Biota Air*, Institut Pertanian Bogor, www.rr.ualberta.ca/Research/Land_Recl_Remed_Restor/index.asp, diakses tanggal 10 Juli 2010.
- Darmono, 1995, *Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*, UI-Perss, Jakarta.
- Gardea-Torresdey, J.L., Tieman, J.H. Gonzales, Q., Rodriquez and G.Gamez, 1997, *Phytofiltration of Hazardous Cadmium, Chromium, Lead, Enzinc, Ions by Biomass of of Medicago Sativa (Alfalfa)*, J.of Haz. Mat.
- Hernowo. S, Sipon. M., 1999, *Kajian Eceng Gondok Sebagai Bahan Baku Industri dan Penyelamatan Lingkungan Hidup di Daerah Perairan*. Fakultas Kehutanan Mulawarman, Samarinda.
- Kim, Joo-Byun., Bae, Min-Byun., An, Hyeok-Kay., 2011, *Elemental Mercury Adsorption Behaviors of Chemically Modified Activated Carbons*, Departement of Chemistry, Inha University, Korea.

- Khalifah, S.N, 2008, *Studi Keseimbangan Adsorpsi Merkuri Pada Biomassa Daun Enceng Gondok Yang Diimobilisasi Pada Matriks Polisilikat*, Skripsi Tidak Diterbitkan. Malang: Jurusan Kimia Universitas Islam Negeri Malang.
- Larkin, Paul., 1965, *about University Chemistry*, Krueger. Co, USA. pp. 631, 643.
- Larry, D.B., Judkins J.F., and Weant, B.L., 1992, *Process Chemistry for Water and Wastewater*, Prentice Hall Inc., New Jersey, pp. 202 – 206.
- Liu, Yan., Xu, Zhenghe., and Kuznicki, M., Steven, 2009, *Development of a Novel Mercury Cartridge for Mercury Analysis*, Departement of Vhemical and Materials Engineering, Universitas of Alberta, Canada.
- Liu, Yan., Xu, Zhenghe., Kelly, J.A., David., Lin, C.H. Chirstopher., and Kuznicki, M., Steven, *Novel Regenerable Sorben for Mercury Capture from Flue Gases of Coal-Fired Power Plant*, Departement of Vhemical and Materials Engineering, Universitas of Alberta, Canada.
- Lilik, R., 2008, *Studi Kinetika Adsorpsi Merkuri (II) Pada Biomassa Daun Enceng Gondok (Eichhornia Crassipes)*, Jurusan Kimia Universitas Islam Negeri, Malang
- Marganof, 2003, “*Potensi Limbah Udang sebagai Penyerap Logam Berat (Timbal, Kadmium, dan embaga) di Perairan*”, Makalah Pribadi Pengantar ke Falsafah Sains (PP702) Program Pasca Sarjana S- 3 ITB, ITB, Bandung.
- Mulyani. O, 2007, *Studi Perbandingan Cara Destruksi Basah pada Beberapa Sampel Tanah Asal Aliran Sungai Citarum dengan Metode Konvensional dan Bomb Teflon*, Tesis, ITB, Bandung.
- Narsito, Roy Andreas, Sri Noegrohati, 2007, *Karakteristik Adsorpsi Tembaga (II) Pada Humin Dalam Medium Air*, UGM, Yogyakarta
- Oscik, J., 1991, *Adsorbtion, Edition Cooper*, I.L., John Wiley and Sons, New York. Pp. 128 – 129, 152 – 154.
- Pandey.B.P.,1980, *Plant Anatomy*, S Chard dan Co, Ltdramnage, New Delhi.
- Palar. H, 1994, *Pencemaran dan Toksiologi Logam Berat*, Rineka Cipta. Jakarta.
- Raimon. A, 1992, *Perbandingan Metode Destruksi Basah dan Kering Terhadap Penentuan Logam Fe, Cu, dab Zn*, Edisis Khusus BIPA, Palembang.
- Rosyidah. M, 2008. *Studi Kinetika Adsorpsi Merkuri (II) Pada Biomassa Daun Enceng Gondok (Eichhornia Crassipes) Yang diimmobilisasi pada matriks polisilikat*. Skripsi Jurusan Kimia Fakultas SAINTEK. Universitas Islam Negeri Malang. Malang.
- Rousseau, R. W., 1987, *Handbook Of Separation Process Technology*, John Wiley and Sons Inc., United States, pp.67.
- Shihab, M. Quraish, 2002, *Tafsir Al-Misbah*, Lentera Hati; Jakarta

- Skoog. D. A., Donald M. West, F. James Holler, Stanley R. Crouch, 2000. *Fundamentals of Analytical Chemistry*. Hardcover: 992 pages, Publisher: Brooks Cole.
- Suhendrayatna, 2004, *Bioremoval Logam Berat Dengan Menggunakan Mikroorganisme*. <http://wwwstd.ryu.titech.ac.jp/indonesia/zoa/paper/html/papersuhendrayatna.html>, diakses tanggal 10 Juli 2010.
- Tan T.C., Chia, C.K., Theo, C.K., (1985), "Uptake of Metal by Chemically Treated Human Hairs", *Water Research*, 19:157-162.
- Underwood A. L. & Day, R.A., 2002, *Analisis Kimia Kuantitatif*, alih bahasa sopyan, Erlangga, Jakarta.
- Vogel, 1979, *Buku teks Analisis Anorganik kualitatif makro dan mikro*. Kalman Media Pusaka, Jakarta, pp 212.
- L.G., Wang., C.H., Chen., K.H., Kolker, 2005, *Vapor-Phase Elemental Mercury Adsorption by Ridual Carbon Separated from Fly Ash*, Departement of Engineering, University and Technology, Beijing.
- Wahidin, 2009, *Tesis Analisis Zat Besi Dari Susu Sapi Asli dan Minuman Susu Fermentasi Yakult, Calpico dan Vitachram secara Destruksi dengan Metode Spektrofotometer Serapan Atom*, Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatra Utara, Medan.
- Widhiyatna D., 2005, *Pendataan Sebaran Merkuri Di daerah Cineam, Kab. Tasikmalaya, Jawa Barat dan Sangon, Kab. Kulon Progo, DI Yogyakarta*, www.dim.esdm.go.id/kolokium/Makalah%20Umum/10.Makalah%20umum%20Konservasi,20Penyebaran%20Merkuri.pdf, diakses pada tanggal 5 juli 2010.
- Widianto. L.S, 1986, *The Effect Of Heavy Metal On The Growth Of WaterHyacinth*, Proceed Symposium on Pest Ecology and Pest management, Seameo-Biotrop, Bogor, Indonesia.